

**BULLETIN  
OF THE  
NATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH CENTER  
FOR TOHOKU REGION**

**Tohoku Nogyo Kenkyu Center Kenkyu Hokoku  
No.105, March 2006**

**東北農業研究センター  
研究報告**



独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構

**東北農業研究センター**

岩手県盛岡市

**National Agricultural Research Center  
for Tohoku Region**

National Agricultural and Bio-oriented Research Organization  
Morioka, Iwate 020-0198, Japan

本誌から転載・複製する場合は当研究  
センターの許可を得てください。

東北農業研究センター研究報告 第105号

所長 氏原和人

編集委員会

編集委員長	駒村研三				
編集委員	小池俊吉			矢島正晴	
	宮川三郎			荒木合	
	新田恒雄			河合	
	須山哲男				

BULLETIN OF THE  
NATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH CENTER  
FOR TOHOKU REGION

No.105

*Director General*

Kazuto UJIHARA

*Editorial Board*

*Editor*

Kenzo KOMAMURA

*Associate Editors*

Toshikichi KOIKE

Masaharu YAJIMA

Saburo MIYAGAWA

Hitoshi ARAKI

Tsuneo NITTA

Akira KAWAI

Tetsuo SUYAMA

# 東北農業研究センター研究報告 第105号 (平成18年3月)

## 目 次

耐冷性の強い巨大胚水稻新品種「恋あずさ」の育成 遠藤 貴司・山口 誠之・片岡 知守・中込 弘二・滝田 正 東 正昭・横上 晴郁・加藤 浩・田村 泰章・小綿 寿志 小山田善三・春原 嘉弘 .....	1 - 16
ダイズモザイクウイルス抵抗性の納豆用極小粒ダイズ新品種「すずかおり」の育成 河野 雄飛・湯本 節三・高田 吉丈・加藤 信・島田 信二 境 哲文・島田 尚典・高橋 浩司・故足立大山・田淵 公清 菊池 彰夫・中村 茂樹・伊藤美環子・番場 宏治 .....	17 - 33
東北地域向きリポキシゲナーゼ欠失ダイズ新品種「すずさやか」の育成 湯本 節三・島田 信二・高田 吉丈・境 哲文・河野 雄飛 島田 尚典・高橋 浩司・故足立大山・田淵 公清・菊池 彰夫 村田 吉平・酒井 真次・喜多村啓介・石本 政男・異議田和典 中澤 芳則・羽鹿 牧太 .....	35 - 48
ナタネ新品種「菜々みどり」の育成 石田 正彦・山守 誠・加藤 晶子・千葉 一美・奥山 善直 田野崎真吾・菅原 俐・遠山 知子・遠藤 武男・柴田 悖次 .....	49 - 62
東北地域の飼料イネ向け品種・系統の直播適性および乾物生産性 吉永 悟志・長田 健二・福田あかり .....	63 - 71
日本におけるコムギ縮萎縮ウイルスの病原性の分化と判別条件 大藤 泰雄 .....	73 - 96
不耕起ダイズ栽培における雑草の生態と耕種的防除 小林 浩幸 .....	97 - 154
糸状菌食性線虫の生態及び植物病害抑制への利用 岡田 浩明 .....	155 - 197

BULLETIN OF THE  
NATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH CENTER  
FOR TOHOKU REGION  
No.105 (March 2006)

CONTENTS

ENDO, T., YAMAGUCHI, M., KATAOKA, T., NAKAGOMI, K., TAKITA, T., HIGASHI, T., YOKOGAMI, N., KATOH, H., TAMURA, Y., KOWATA, H., OYAMADA, Z. and SUNOHARA Y. :	
Breeding of a New Giant Embryo Rice Cultivar "Koiazusa" with High Tolerance to Cool Temperature .....	1 - 16
KONO, Y., YUMOTO, S., TAKADA, Y., KATO, S., SHIMADA, S., SAKAI, T., SHIMADA, H., TAKAHASHI, K., ADACHI, T., TABUCHI, K., KIKUCHI, A., NAKAMURA, S., ITO, M. and BANBA, H. :	
A New Small-seed Soybean Cultivar, "Suzukaori," with Resistance to Soybean Mosaic Virus .....	17 - 33
YUMOTO, S., SHIMADA, S., TAKADA, Y., SAKAI, T., KONO, Y., SHIMADA, H., TAKAHASHI, K., ADACHI, T., TABUCHI, K., KIKUCHI, A., MURATA, K., SAKAI, S., KITAMURA, K., ISHIMOTO, M., IGITA, K., NAKAZAWA, Y. and HAJIKA M. :	
A New Tohoku-District Soybean Cultivar "Suzusayaka" with Three Lipoxygenase Isozyme Deletions .....	35 - 48
ISHIDA, M., YAMAMORI, M., KATO, M., CHIBA, I., OKUYAMA, Y., TANOSAKI, S., SUGAWARA, S., TOYAMA, T., ENDO, T. and SHIBATA, M. :	
New Variety of Winter Rapeseed, "Nanamidori" .....	49 - 62
YOSHINAGA, S., NAGATA, K. and FUKUDA, A. :	
Characteristics of Seedling Emergence and Dry Matter Production of Direct-seeded Rice Cultivars for Whole-crop Silage in Tohoku Region .....	63 - 71
OHTO, Y. :	
Studies on the Pathotypes of Japanese Isolates of <i>Wheat Yellow Mosaic</i> <i>Virus</i> and Their Distribution in Japan .....	73 - 96
KOBAYASHI, H. :	
Weed Ecology and Cultural Control in No-tillage Soybean .....	97 - 154
OKADA, H. :	
Ecology of Fungivorous Nematodes and Their Use for Suppression of Plant Diseases .....	155 - 197

## 耐冷性の強い巨大胚水稻新品種「恋あずさ」の育成

遠藤 貴司<sup>\*1)</sup>・山口 誠之<sup>\*1)</sup>・片岡 知守<sup>\*1)</sup>・中込 弘二<sup>\*1)</sup>  
 滝田 正<sup>\*2)</sup>・東 正昭<sup>\*3)</sup>・横上 晴郁<sup>\*4)</sup>・加藤 浩<sup>\*2)</sup>  
 田村 泰章<sup>\*5)</sup>・小綿 寿志<sup>\*6)</sup>・小山田善三<sup>\*7)</sup>・春原 嘉弘<sup>\*8)</sup>

抄録：「恋あずさ」は、1989年に巨大胚梗系統「北海269号」と「奥羽316号」を交配し、その後代から育成した巨大胚梗品種であり、2005年に水稻農林407号として命名登録された。出穂期、成熟期は育成地（秋田県大仙市）では「あきたこまち」とほぼ同じ“早生の晩”に属し、稈長は「あきたこまち」よりも短く、耐倒伏性が強い。玄米の粒形がやや円く、玄米千粒重はやや小さい。収量は「あきたこまち」並である。胚芽の大きさは、「あきたこまち」に比べて胚芽長が約1.3倍、胚芽重は約1.9倍ある。いもち病真性抵抗性遺伝子型は“*Pia*, *Pik*”と推定され、圃場抵抗性は、葉いもち、穂いもちともに“弱”である。障害型耐冷性は“極強”であり、穂発芽性は“やや易”である。玄米品質は光沢が劣り“中下”、白米の食味は「あきたこまち」より明らかに劣る“中中”であり、発芽玄米としての食味は「あきたこまち」の発芽玄米と比較してやや劣る。玄米中の $\gamma$ -アミノ酪酸（GABA）含量は一般品種に比べて高く、発芽玄米にした場合は約1.6～1.8倍である。したがって、GABAが豊富な加工用米としての利用が期待できる。

栽培適地は、「あきたこまち」が栽培できる東北地域及び東北地域以南である。栽培上の留意点は、出芽が一般品種に比べて劣るため、育苗時に播種量を通常より約1.5倍量を増やして苗立ちを確保することである。

キーワード：水稻，巨大胚，耐冷性， $\gamma$ -アミノ酪酸（ギャバ，GABA），発芽玄米

**Breeding of a New Giant Embryo Rice Cultivar “Koiazusa” with High Tolerance to Cool Temperature** : Takashi ENDO<sup>\*1)</sup>, Masayuki YAMAGUCHI<sup>\*1)</sup>, Tomomori KATAOKA<sup>\*1)</sup>, Koji NAKAGOMI<sup>\*1)</sup>, Tadashi TAKITA<sup>\*2)</sup>, Tadaaki HIGASHI<sup>\*3)</sup>, Narifumi YOKOGAMI<sup>\*4)</sup>, Hiroshi KATOH<sup>\*2)</sup>, Yasuaki TAMURA<sup>\*5)</sup>, Hisashi KOWATA<sup>\*6)</sup>, Zenzo OYAMADA<sup>\*7)</sup> and Yoshihiro SUNOHARA<sup>\*8)</sup>

**Abstract** : “Koiazusa” is a new rice cultivar with a giant, nonglutinous embryo developed at the National Agricultural Research Center for Tohoku Region, NARO, registered as Paddy Rice “Norin 407” by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF) in 2005. It was selected from the progenies of a cross Hokkai269/Ouu316 carried out in 1989.

The maturity is almost same as “Akitakomachi” and is classified as early group in Tohoku region. Compared to “Akitakomachi,” the culm height is shorter, and lodging resistance is stronger. The

\* 1) 東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Daisen, Akita 014-0102, Japan)

\* 2) 現・作物研究所 (National Institute of Crop Science, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8518, Japan)

\* 3) 元・近畿中国四国農業研究センター (Retired, National Agricultural Research Center for Western Region, Zentsuji, Kagawa 765-0053, Japan)

\* 4) 現・北海道農業研究センター (National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, Sapporo, Hokkaido 062-8555, Japan)

\* 5) 現・国際農林水産業研究センター沖縄支所 (Okinawa Subtropical Station of Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Ishigaki, Okinawa 907-0002, Japan)

\* 6) 現・岩手県花巻農業改良普及センター (Iwate Hanamaki Agricultural Extension Center, Hanamaki, Iwate 025-0075, Japan)

\* 7) 元・青森県ふるさと食品研究センター (Retired, Aomori Prefectural Local Food Research Center, Hachinohe, Aomori 031-0831, Japan)

\* 8) 現・近畿中国四国農業研究センター (National Agricultural Research Center for Western Region, Fukuyama, Hiroshima 721-8514, Japan)

grain shape of the brown rice is a slightly more round, and the 1000 grain weight is slightly less. In terms of embryo size, the length is about 1.3 times longer and the weight is about 1.9 times more than that of "Akitakomachi." The grain yield is almost same as that of "Akitakomachi." It has true resistance genes to blast, "Pia, Plk", while the field resistance to leaf and panicle blasts are weak. Cool weather tolerance at its reproductive stage is very high and seed dormancy is easy to overcome. Grain quality is poor because luster is inferior. As for the eating quality, the milled rice is clearly inferior to "Akitakomachi," but the pre-germinated brown rice is only slightly inferior to "Akitakomachi." The Gamma-aminobutyric acid (GABA) content in the grain is high and that of the pre-germinated brown rice is about 1.6-1.8 times as high as that of the usual varieties. It can be expected as an emergent high-GABA brown rice for processing. "Koiazusa" can be adapted to Tohoku district and other areas where "Akitakomachi" can be grown. Its cultivation requires sowing about 1.5 times the normal amount of seeds, since the emergence of its seedlings is inferior to that of common varieties.

**Key Words** : Rice, Giant embryo, Cool tolerance, Gamma-aminobutyric acid (GABA), Pre-germinated brown rice

## 結 言

2002年12月に農林水産省から発表された米政策改革大綱により、生産者や米生産地には消費者や市場を重視した売れる米づくりを目指した意欲的な取り組みが求められている。一方、健康志向の高まりから、消費者の機能性食品に対する関心が高く、機能性成分に富むサプリメントや飲料などの販売が好調である。こうした中、玄米に高湿度処理等を施した発芽玄米は、玄米と同様にビタミン類やミネラル、食物繊維が豊富であり、さらに胚芽に含まれるγ-アミノ酪酸 (GABA, ギャバ) が通常の玄米よりも高いことで優れた機能性食品として注目されている。発芽玄米中のGABAは、玄米の吸水過程において表皮や胚芽に含まれるグルタミン酸がグルタミン酸脱炭酸酵素の働きにより変換されることによって生成される (Saikusa et al. 1994a, Saikusa et al. 1994b)。GABAは、アミノ酸の一種で哺乳動物の脳に多く存在している抑制性の神経伝達物質として知られ、血圧上昇抑制作用 (齊藤ら 1995)、更年期障害及び初老期神経障害の改善効果 (岡田ら 2000) などの生理作用が報告されている。

現在、市販されている発芽玄米は、原材料として「コシヒカリ」や「あきたこまち」といった一般の品種が主に使用されているが、胚芽中のGABAを効率よく摂取するための素材として、巨大胚品種の利用が考えられる。通常の玄米よりも大きい胚芽をもつ巨大胚品種は、玄米中に含まれるGABA含量が高いので、従来の発芽玄米よりもGABA含量の高い発芽玄米を生産することが可能である。これま

で、巨大胚品種としては、「はいみのり」(根本ら 2001)、「めばえもち」(上原ら 2003)、「越車 (こしぐるま)」(石崎 2004) が育成されている。しかしながら、「はいみのり」は極晩生のため東北地域では栽培ができず、「めばえもち」は糯品種であるため用途が異なる。また、「越車」は新潟県が開発したオリジナル品種であるため他県への普及の機会は少ない。そこで、東北農業研究センターでは東北地域での栽培に適した巨大胚品種の育成を図り、2005年に「恋あずさ」を育成した。本稿では、本品種の普及と今後の品種開発に資するため、育成経過と品種特性について報告する。

本品種の育成に当たり、現地栽培試験及び発芽玄米の試作品の開発などにご協力いただいた株式会社ファインフーズ梓川、梓川営農指導センター、及び松本農業改良普及センターの関係各位に厚くお礼申し上げます。さらに本稿を執筆するにあたりGABA含量の分析結果の使用をご快諾いただいた長野県食品工業試験場、株式会社大潟村あきたこまち生産者協会、育成材料の世代促進を実施していただいた熱帯農業研究センター (現・国際農林水産業研究センター) 沖縄支所、特性検定試験、奨励品種決定調査を実施していただいた公立農業試験場の方々から感謝申し上げます。また、育種事業の遂行にあたっては、東北農業研究センター水田利用部業務科各位にご尽力いただいた。これらの方々へ深く感謝する。

育種目標，育成経過，命名登録

1. 育種目標，育成経過

「恋あずさ」は，東北地域向きの巨大胚梗品種の育成を目標に，北海道の巨大胚系統「北海269号」を母，育成地において“中生の晩”で収量性に優れる「奥羽316号」を父とする組合せから育成された巨大胚梗品種である（図1）。交配親である「北海269号」は，九州大学農学部において「金南風」の受精卵にMNU（メチルニトロソウレア）処理することにより誘発された巨大胚突然変異系統

（Satoh・Omura 1981）に由来する巨大胚系統である。1989年に東北農業試験場（現・東北農業研究センター）水田利用部において人工交配を行い，1990年にF<sub>1</sub>個体を水田利用部圃場で養成した（図2）。1991年はF<sub>2</sub>，F<sub>3</sub>，F<sub>4</sub>集団の養成を熱帯農業研究センター（現・国際農林水産業研究センター）沖縄支所に依頼した。1992年はF<sub>5</sub>集団を水田利用部圃場で養成し，35個体を選抜した。1993年F<sub>6</sub>世代以降は系統育種法に準じて選抜，固定を図ってきた。1995年に「奥羽359号」の地方番号を付し，希望する関係県に配付して地域適応性を検討した。

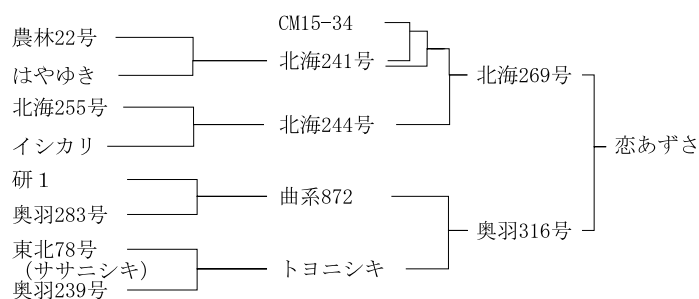


図1 「恋あずさ」の系譜

注) CM15-34：「金南風」のMNU（メチルニトロソウレア）処理による巨大胚突然変異系統

年次	1989	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04
世代	交配	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub> -F <sub>4</sub> 集団 沖縄	F <sub>5</sub> 集団	F <sub>6</sub> 単独 系統	F <sub>7</sub>	F <sub>8</sub> 奥羽 359号	F <sub>9</sub>	F <sub>10</sub>	F <sub>11</sub>	F <sub>11</sub>	F <sub>12</sub> 保存	F <sub>12</sub> 保存	F <sub>13</sub> 保存	F <sub>14</sub>	F <sub>15</sub>
育成系統図	北海269号									2141						2541
	×					U-	U-		U-	2142						2542
	奥羽316号				U67	2381	2069		3043	2143					2381	2543
			石垣	UB	~	~	2070	U-	3044	2144		E-	E-	2382	2544	
	-49	31	-18	75	2388	2071	2049	3045	2145		202	392	2383	2545		
				2300	~	~	2050								2384	
				個体	101	2416	2051								2385	
				養成												
				35												
				個体												
				選抜												
選抜経過	養成系統群数					10	1	1	1	1		1	1	1	1	1
	養成系統数				35	30	3	3	3	5		1	1	5	5	
	選抜系統				10	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1

注) 1999, 2001年は種子保存。2000, 2002年は品種保存のための継代。  
 奥羽交：交配番号，F<sub>1</sub>：雑種第1代番号，石垣：世代促進番号，UB：雑種集団番号，E：品種保存番号，アンダーラインは選抜系統を示す。

図2 「恋あずさ」の育成経過



2004年の世代は雑種第15代である。

## 2. 命名登録と命名の由来

本品種は2005年に“水稻農林407号”として命名登録され、「恋あずさ」と命名された(登録年月日:2005年9月15日)。同年には、種苗法に基づく品種登録の申請を行った(申請の番号:第18657号,申請年月日:2005年8月11日)。命名の由来は、“恋の芽生え”に胚芽の芽生えをかけ、恋しくなるほど食べたくなる米であること、また、「あずさ」は最初に本品種で発芽玄米を開発した梓川地域(長野県松本市)にちなんでいる。

## 特 性

### 1. 形態的特性

移植時の苗丈は「あきたこまち」に比べてやや短く、葉色は濃い。稈の細太は“中”,剛柔は“やや剛”,芒は稀に極短芒を生じ,ふ先色及び穎色は“黄白”で,穂の粒着密度は“やや密”,脱粒性は“難”,止葉の直立は“やや立”である(表1)。「あきたこまち」と比べて,稈長は20cm程度短く,穂長は同程度,穂数はやや多く,耐倒伏性は明らかに強い(表2,写真1)。草型は“中間型”である(写真2)。

表1 形態的特性

品種名	移植時		稈		芒		ふ先色	穎色	粒着密度	脱粒性	止葉の直立
	苗丈	葉色	細太	剛柔	多少	長短					
恋あずさ	やや短	やや濃	中	やや剛	稀	極短	黄白	黄白	やや密	難	やや立
あきたこまち	中	中	中	やや柔	中	やや短	黄白	黄白	やや密	難	やや立
めばえもち	中	中	中	中	稀	短	褐	黄褐	やや疎	難	立

注) 2004年の育成地による観察。

表2 生育特性

品種名	出穂期 (月日)	成熟期 (月日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	倒伏 (0~5)	穂いもち (0~5)
恋あずさ	8. 6	9. 16	61	18. 3	324	0. 3	0*
あきたこまち	8. 5	9. 15	79	18. 5	309	1. 6	1. 3*
めばえもち	8. 1	9. 6	67	19. 7	391	0. 0	0. 0

注) 数値は育成地の1995, 1998, 2003, 2004年の4年平均。\*は1998, 2003, 2004年の3年平均。「めばえもち」は2004年の測定及び観察結果。倒伏:0(倒伏無)~5(完全倒伏), 穂いもち:0(発病無)~5(発病極多)。耕種概要:播種日, 移植日の順に1995年は4月13日, 5月25日, 1998年は4月15日, 5月28日, 2003年は4月24日, 5月22日, 2004年は4月15日, 5月20日。施肥量は1995年が基肥N成分0.6kg/a, 追肥N成分0.2kg/a, 1998年が0.7kg/a, 0.3kg/a, 2003年と2004年が0.7kg/a, 0.2kg/a。栽植密度は, 33.3cm×15.0cm(行間×株間)で3本植。その他は慣行栽培に準ずる。



写真1 株標本(左から,「恋あずさ」,「あきたこまち」,「めばえもち」)



写真2 「恋あずさ」の草姿(秋田県大仙市, 2004年9月)

表3 収量性

品種名	全重 (kg/a)	精玄米重 (kg/a)	同左比率 (%)	玄米千粒重 (g)
恋あずさ	123	50.4	104	21.0
あきたこまち	124	48.5	100	22.3
めばえもち	130	44.2	90	19.5

注) 数値は育成地の1995, 1998, 2003, 2004年の4年平均。「めばえもち」は2004年の測定値。品質: 1 (上上) ~ 5 (中中) ~ 9 (下下)。耕種概要は表2注)と同じ。

玄米千粒重は約21gとやや軽く、収量性は「あきたこまち」並である(表3)。長野県松本市梓川地域(旧南安曇郡梓川村)における2001年の現地栽培試験では、「コシヒカリ」に比べて稈長が約40cm短く、穂長が短く、穂数は少なく、収量は少ない(表4)。

## 2. 生態的特性

### 1) 早晚性

「恋あずさ」は、育成地において出穂期、成熟期ともに「あきたこまち」とほぼ同じ“早生の晩”に属する(表2)。長野県の現地栽培試験では、「コシヒカリ」と比較して出穂期で7日、成熟期で14日早かった(表4)。

### 2) 耐病性

いもち病真性抵抗性遺伝子型は4菌系を用いた噴霧接種試験結果より“*Pia, Pik*”と推定される(表5)。畑晩播検定法による葉いもち圃場抵抗性は、宮城県古川農業試験場を除いて育成地、依頼先ともに発病程度が大きく“弱”と判定される(表6)。また、自然感染による穂いもち検定では、依頼先の秋田、山形、福島では発病程度が小さく判定は難しいが、育成地と依頼先の山口のデータから判断すると“弱”と判定される(表7)。したがって、いもち病圃場抵抗性については、いもち病真性抵抗性遺伝子 *Pia, Pik* を同時に侵す菌が発生した場合は、発病程度が大きくなるので防除が必要と考えられる。また、依頼先の検定により白葉枯病抵抗性は“やや強”(表8)、縮葉枯病抵抗性については“罹病性”と判定される(表9)。

### 3) 耐冷性

障害型耐冷性は、育成地において、稔実率が“極強”の基準品種である「トドロキワセ」の稔実歩合を上回り、依頼先の検定においても不稔歩合が下回ったことから“極強”と判定される(表10)。さら

表4 現地における生育(梓川村営農指導センター, 松本農業改良普及センター)

品種名	7月中旬		出穂期 (月日)	成熟期 (月日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	全重 (kg/10a)	わら重 (kg/10a)	精籾重 (kg/10a)	屑米重 (kg/10a)	玄米重 (kg/10a)
	草丈 (cm)	茎数 (本/m <sup>2</sup> )										
恋あずさ	50	495	7.30	9.7	56	10.4	370	1201	479	697	3	547
コシヒカリ	72	656	8.6	9.21	93	18.1	415	1750	678	1000	11	736

注) 試験は2001年長野県松本市(旧南安曇郡梓川村)で実施。耕種概要は現地慣行による。

表5 いもち病真性抵抗性遺伝子型

レース 菌株	007.0 稲86-137	033.1 TH68-126	035.1 TH68-140	037.1 研60-19	推定遺伝子型
恋あずさ	R	S	R	S	<i>Pia, Pik</i>
新2号	S	S	S	S	+
愛知旭	S	S	R	S	<i>Pia</i>
石狩白毛	S	R	S	S	<i>Pii</i>
関東51号	R	S	S	S	<i>Pik</i>
ツユアケ	R	S	S	S	<i>Pik-m</i>
フクニシキ	R	R	R	R	<i>Piz</i>
ヤシロモチ	R	R	R	R	<i>Pita</i>
PiNo.4	R	R	R	R	<i>Pita-2</i>
とりで1号	R	R	R	R	<i>Piz-t</i>
BL1	R	R	R	R	<i>Pib</i>
K59	R	R	R	R	<i>Pit</i>

注) 2003年の育成地における噴霧接種による調査。R:抵抗性反応, S:罹病性反応。

表6 葉いもち圃場抵抗性

系統・ 品種名	真性 抵抗性	育成地	依頼先			判定	
		4年 平均	青森 藤坂 2年平均	宮城 古川 2年平均	愛知 山間 2年平均	旧	新
恋あずさ	<i>Pia, Pik</i>	5.0	6.0	3.4	9.3	弱	弱
ヒメノモチ	<i>Pik</i>	1.6	2.8	-	6.5	強	強
サカキモチ	<i>Pia, Pik</i>	4.0	-	-	-	(やや強)	(中)
東北IL3号	<i>Pia, Pik</i>	4.1	-	-	6.5	-	やや弱
ふ系69号	<i>Pik</i>	5.1	-	-	8.6	-	弱
トヨニシキ	<i>Pia</i>	4.8	5.2	5.1	-	強	(やや強)
キヨニシキ	<i>Pia</i>	5.2	5.4	5.7	6.5	やや強	やや強
ササニシキ	<i>Pia</i>	6.1	-	6.4	9.0	やや弱	やや弱

注) 数値は畑晩播検定による葉いもち発病程度: 0 (無発病) ~ 10 (全茎葉枯死)。

青森藤坂: 青森県農林総合研究センター藤坂稲作研究部, 宮城古川: 宮城県古川農業試験場, 愛知山間: 愛知県農業総合試験場山間農業研究所

育成地は1995~96, 2003~04年の4年平均(但し, サカキモチ, 東北IL3号, ふ系69号は2003, 2004年の平均)。

青森藤坂と宮城古川は1995~1996年の2年平均。愛知山間は2003~2004年の2年平均。

判定は, 旧は1979年3月東北地域ブロック会議で承認された基準品種, 新は2002年3月に承認された東北地域葉いもち新基準品種(片岡ら2001)による。( )は参考品種の評価。

表7 穂いもち圃場抵抗性

系統・ 品種名	真性 抵抗性	育成地	依頼先				判定	
		4年 平均	秋田	山形	山口	福島 2年 平均	旧	新
恋あずさ	<i>Pia, Pik</i>	4.9	1.2	1.1	7.0	1.8	弱	弱
ヒメノモチ	<i>Pik</i>	0.8	0.1	0.1	-	1.6	強	強
サカキモチ	<i>Pia, Pik</i>	2.4	-	-	-	-	-	-
東北IL3号	<i>Pia, Pik</i>	4.7	0.0	0.3	-	1.9	-	弱
ふ系69号	<i>Pik</i>	5.6	1.6	-	-	1.9	-	弱
トヨニシキ	<i>Pia</i>	3.2	-	-	-	-	強	(やや強)
キヨニシキ	<i>Pia</i>	4.6	-	-	-	-	中	中
ササニシキ	<i>Pia</i>	6.1	-	-	-	-	弱	弱
チヨニシキ	<i>Pia</i>	-	7.1	3.8	4.3	-	-	強

注) 数値は検定圃場での自然感染による穂いもち発病程度: 0 (無発病) ~ 10 (全穂罹病)。

秋田: 秋田県農業試験場, 山形: 山形県立農業試験場庄内支場, 山口: 山口県農業試験場徳佐寒冷地分場, 福島: 福島県農業試験場相馬支場

育成地の発病程度は1995, 1996, 2003, 2004年の4年平均(但し, サカキモチ, 東北IL3号, ふ系69号は2003, 2004年の平均)。秋田, 山形, 山口は2003年の測定値, 福島は2002~03年の2年平均。

判定は, 旧は1979年3月東北地域ブロック会議で承認された基準品種, 新は2002年3月に承認された東北地域穂いもち新基準品種(加藤ら2001)による。( )は参考品種の評価。

表8 白葉枯病抵抗性(山形県立農業試験場庄内支場)

系統・品種名	2年平均	
	病斑長	判定
恋あずさ	5.9	やや強
中新120号	3.2	強
庄内8号	8.2	中
フジミノリ	7.2	中
ササニシキ	7.5	やや弱
ヒメノモチ	14.4	弱

注) 出穂期前後に止葉に剪葉接種し, 発病後に罹病程度(剪葉部からの最大病斑長(cm))を測定。値は2003年と2004年の平均。接種菌は2003年は, T-7417(II), T-7133(III), 2004年はMAFF311019(II), MAFF311020(III)をそれぞれ混合し接種した。

表9 縞葉枯病抵抗性(岐阜県農業技術研究所)

品種名	2年平均	
	罹病株率(%)	判定
恋あずさ	0.7	罹病性
あさひの夢	0.0	抵抗性
日本晴	22.8	罹病性
ハツシモ	56.9	罹病性

注) 罹病株率は, 植え付け株数に対する罹病株数の割合で2003年と2004年の平均。目視による病徴確認。

表 10 障害型耐冷性

品種名	育成地		依頼先						判定
	5年平均		青森藤坂		宮城古川		福島冷害		
	出穂期 (月日)	稔実歩合 (%)	出穂期 (月日)	不稔歩合 (%)	出穂期 (月日)	不稔歩合 (%)	出穂期 (月日)	不稔歩合 (%)	
恋あずさ	8.25	66.5	8.27	37.0	8.19	29.5	8.20	60.1	極強
イブキワセ	8.22	33.9	8.18	64.6	8.14	46.5	8.18	74.1	強
ヒメノモチ	8.20	22.3	8.16	70.0	8.14	66.3	8.18	80.4	中
ササミノリ	8.22	14.4	8.19	95.0	8.14	73.1	8.17	89.4	中
トドロキワセ	8.22	43.1	8.23	57.0	8.15	41.3	8.20	88.3	極強
オオトリ	8.24	29.2	8.21	60.3	8.19	62.1	-	-	強
ひとめぼれ	8.25	47.9	-	-	-	-	-	-	極強

注) 福島冷害は冷水掛け流しによる検定, その他の恒温深水法による検定。

青森藤坂: 青森県農林総合研究センター藤坂稲作研究部, 宮城古川: 宮城県古川農業試験場  
福島冷害: 福島県農業試験場冷害試験地

育成地は, 1995~1996年, 1998年, 2003~2004年の5年平均。青森藤坂は1995~1996年, 2003~2004年の4年平均(ただし, 「イブキワセ」, 「ヒメノモチ」, 「オオトリ」は2003年を除く3年平均, 「恋あずさ」の出穂期は2004年を除く3年平均)。宮城古川は, 1995~1996年, 2003~2004年の4年平均。福島冷害は, 2003~2004年の2年平均。

表 11 異なる検定水温下での障害型耐冷性

品種名	検定水温						判定
	19.3℃		18.9℃		18.5℃		
	出穂期 (月日)	稔実歩合 (%)	出穂期 (月日)	稔実歩合 (%)	出穂期 (月日)	稔実歩合 (%)	
恋あずさ	8.15	92.5	8.16	85.0	8.18	72.5	極強
イブキワセ	8.13	51.7	8.12	38.3	8.10	20.8	(強)
コガネヒカリ	8.17	16.7	8.16	13.5	8.17	6.2	(やや強)
ヒメノモチ	8.10	30.8	8.6	22.5	8.6	8.5	(中)
トドロキワセ	8.13	53.3	8.11	40.8	8.13	24.2	(極強)
オオトリ	8.16	27.5	8.15	15.2	8.14	7.8	(強)
ひとめぼれ	8.14	73.8	8.17	53.8	8.18	22.5	極強

注) 2004年の育成地における恒温深水法による検定。

判定の( )は基準品種の評価。

に, 2004年の育成地において, 耐冷性検定圃場の水温を通常の検定水温の19.3℃よりも低い18.9℃, 18.5℃の条件下で検定を行ったところ, いずれの温度でも「トドロキワセ」や「ひとめぼれ」の稔実率を大きく上回り, 極強品種に優る高度な耐冷性をもつことが推察された(表11)。また, 「恋あずさ」は育成地において“早生の晩”に属する熟期の品種であるが, 耐冷性検定圃場ではほぼ同じ熟期の「イブキワセ」, 「ヒメノモチ」より熟期が遅くなり, 「トドロキワセ」や「ひとめぼれ」といった“中生の晩”に属する品種と同じ熟期になることが観察された(表10, 11)。その要因については今後の検討

を要する。

#### 4) 穂発芽性・発芽・出芽特性

穂発芽性は, 育成地の検定から“やや易”と判定される(表12)。発芽特性については, 2004年の育成地での室内試験の結果を表13に示す。30℃の条件下での発芽率は, 「はいみのり」を除く4品種が浸種後4日, 7日後ともにはほぼ90%以上となった。一方, 20℃の条件下では, 「恋あずさ」, 「めばえもち」, 「はいみのり」の巨大胚3品種の発芽速度が遅く, 発芽率が90%以上となったのが「あきたこまち」, 「コシヒカリ」では7日後だったのに対して, 「恋あずさ」, 「めばえもち」では10日後であった。

すなわち、「恋あずさ」は30℃条件下では通常品種とほぼ同様の発芽性を示すが、20℃の条件下では発芽速度が遅くなることが明らかになった。また、出芽特性については、「あきたこまち」の基準播種量(1倍量)での出芽数と「恋あずさ」の播種量を「あきたこまち」の基準播種量の1倍量、1.5倍量、2倍量に設定した場合の出芽数を調査した。20℃条件下7日後、30℃条件下4日後における出芽数比を図3に示す。「あきたこまち」と同じ1倍量の種子を播種した場合、20℃、30℃いずれの場合も出芽数は減少し、「あきたこまち」に比べて20℃で

は26.8%、30℃では16.8%減少した。一方、種子量を1.5倍量に増加した場合は、出芽数は基準播種量の「あきたこまち」の出芽数と比べて20℃では7.3%、30℃では29.1%増加し、2倍量に増加した場合は、20℃では29.9%、30℃では70.3%増加した。したがって、「恋あずさ」の出芽特性は一般品種に比べて劣るが、播種量を増加させることによって、出芽率の低下を補うことが可能であると考えられた。

### 3. 品質及び食味特性

玄米の粒形はやや円く(表14, 写真3), 粒厚は

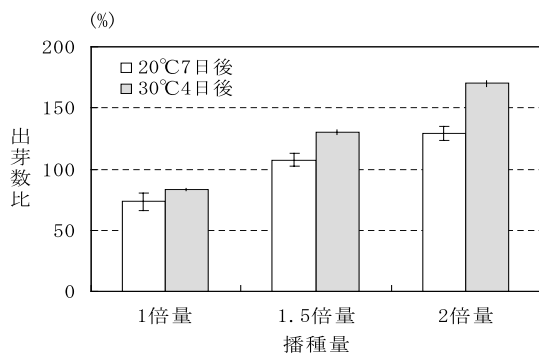


図3 播種量の違いによる「あきたこまち」との出芽数比

注) 2004年の育成地において、各々の温度、光条件下で育苗箱(縦30cm×横60cm×高さ3cm)の15分の1面積当たりの出芽数を調査(2反復)。種子は2004年産の水選による沈下粉を使用し、催芽粉を播種した。出芽数比=各々の播種量下での「恋あずさ」の出芽数×100/「あきたこまち」の1倍量の出芽数を示す。播種量は1倍量: 6.7g, 1.5倍量: 10g, 2倍量: 13.3g。

表12 穂発芽性

品種名	発芽程度	判定
恋あずさ	4.6	やや易
あきたこまち	1.3	やや難
トヨニシキ	6.0	やや易
ササニシキ	4.7	やや易
アキヒカリ	6.9	易

注) 発芽程度は、1(極難)~9(極易)。発芽程度は、育成地における1996, 1998年, 2003年, 2004年の4年平均。「あきたこまち」、「ササニシキ」は、1998, 2003, 2004年の3年平均。



写真3 粉及び玄米(左から、「恋あずさ」、「あきたこまち」、「めばえもち」)

表13 発芽特性

品種名	発芽率(%)				
	20℃			30℃	
	4日	7日	10日	4日	7日
恋あずさ	9.3	76.7	92.3	93.3	95.7
あきたこまち	12.0	99.7	99.7	99.3	99.7
コシヒカリ	45.7	99.0	99.3	99.7	99.7
めばえもち	1.7	71.0	95.0	89.0	98.0
はいみのり	25.7	64.3	69.3	76.3	77.7

注) 2004年育成地において各々の温度、暗黒条件下において発芽率を調査(3反復)。日数は浸種後日数。種子は2004年産(但し「コシヒカリ」は2002年産、「はいみのり」は2003年産)の水選粉を使用(「はいみのり」は非水選粉)。

表14 玄米の形状

品種名	長さ(mm)	幅(mm)	厚さ(mm)	長さ/幅	長さ×幅	判定	
						粒形	粒大
恋あずさ	4.93	3.04	2.09	1.62	14.99	やや円	やや小
あきたこまち	5.17	2.91	2.07	1.78	15.04	中	中
めばえもち	5.13	2.83	1.97	1.81	14.52	中	やや小

注) 数値は2004年の育成地における測定値。1.8mmの篩を通した玄米30粒を調査。

2.1 mm以上の粒が60%を越える(表15)。胚芽の大きさは、2004年の育成地では「あきたこまち」に比べて胚芽長が約1.3倍、胚芽重は約1.9倍で、玄米重に占める胚芽重の比率は5.7%と約2倍である(表16)。玄米品質は、光沢が劣り、腹白がみられることから、「あきたこまち」の“上下”より劣る“中下”である(表17)。白米での食味は、外観、粘り、総合いずれにおいても「あきたこまち」の

“上中”より明らかに劣る“中中”である(表18)。また、実験室内で30℃16時間浸漬処理した発芽玄米の食味結果を表19に示す。「あきたこまち」の白米と「恋あずさ」の発芽玄米を混米し、発芽玄米の比率を10%から30%まで増加させた。その結果、ブレンド比率を上げていくことによって、発芽玄米の硬さや、香りが増加していくために、食味総合値は低下した。しかしながら、ブレンド比率が同じ

表15 玄米の粒厚分布

品種名	1.6mm未満	1.6～	1.7～	1.8～	1.9～	2.0～	2.1～	2.2mm以上	合計
恋あずさ	0.5	0.4	0.8	2.3	7.9	27.9	37.9	22.4	100
あきたこまち	0.4	0.6	1.7	3.6	14.3	45.6	29.4	4.5	100
めばえもち	1.9	2.8	7.3	13.6	27.5	31.3	13.2	2.4	100

注) 数値は育成地における2004年の測定値で重量比%を示す。玄米200gを縦目篩い。

表16 胚芽長と胚芽重

品種名	胚芽長		胚芽重		胚芽重/玄米重
	(mm)	対比(%)	(g/千粒)	対比(%)	(%)
恋あずさ	3.52	126	1.26	191	5.7
あきたこまち	2.80	100	0.66	100	3.0
めばえもち	3.25	116	1.32	200	6.5

注) 数値は育成地における2004年の測定値。1.8mmの篩を通した玄米50粒を調査。

表17 玄米品質

品種名	腹白	心白	乳白	光沢	背白	総合
恋あずさ	2.2	0.8	0.8	5.0	0.5*	5.8**
あきたこまち	0.2	0.5	0.7	3.5	0.3*	3.5**
めばえもち	-	-	-	4.0	-	3.8

注) 数値は育成地の1998, 2003, 2004年の3年平均。\*は2003, 2004年の平均。  
\*\*は1995, 1998, 2003, 2004年の平均。「めばえもち」は2004年の糯種としての評価。耕種概要は表2注)と同じ。

表18 白米の食味

生産年次	品種名	白米水分 (%)	搗精歩合 (%)	砕米歩合 (%)	外観 (-3~3)	粘り (-3~3)	総合 (-3~3)	調査年月日 (パネル数)
2003	恋あずさ	13.0	63.4	1.9	-0.57	-1.14	-1.00	2004.2.23 (7名)
	ふくひびき	13.8	88.4	1.7	-0.29	-1.00	-0.86	
	あきたこまち (基準)	13.8	87.7	1.7	0.00	0.00	0.00	
2004	恋あずさ	15.2	83.5	0.2	-1.00*	-1.50*	-1.60*	2004.12.6 (10名)
	ふくひびき	14.6	89.7	0.7	-0.30	-0.50	-0.40	
	あきたこまち (基準)	14.6	90.0	0.1	0.00	0.00	0.00	

注) 育成地における食味官能試験。外観、総合は、-3 (かなり不良) ~ 0 (基準と同じ) ~ +3 (かなり良), 粘りは-3 (かなり弱) ~ 0 (基準と同じ) ~ +3 (かなり強) を表す。\*は、符号検定により5%水準で有意差あり。

表19 発芽玄米の食味

品種名 及びブレンド割合	外観 (-3~3)	粘り (-3~3)	香り (-3~3)	硬さ (-3~3)	総合 (-3~3)	調査年月日 (パネル数)
恋あずさ発芽玄米10% +あきたこまち白米90%	0.55	0.55	0.55	0.45	0.64	2004.12.8 (11名)
恋あずさ発芽玄米20% +あきたこまち白米80%	-0.45	-0.09	-0.55	-0.18	-0.55	
恋あずさ発芽玄米30% +あきたこまち白米70%	-1.00*	-0.73	-0.82	-0.64	-0.64	
あきたこまち白米	1.27**	1.09**	1.18**	0.82	1.18**	
あきたこまち発芽玄米20% +あきたこまち白米80% (基準)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
恋あずさ発芽玄米20% +スノーパール白米80%	-0.18	0.36	0.18	-0.18	0.27	
恋あずさ発芽玄米30% +スノーパール白米70%	-0.64	0.55	0.00	-0.55	0.09	
恋あずさ発芽玄米50% +スノーパール白米50%	-1.45*	-0.82*	-1.09*	-1.09*	-1.00*	
あきたこまち白米	1.09*	1.00*	0.91*	1.00*	1.09*	
あきたこまち発芽玄米20% +あきたこまち白米80% (基準)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

注) 育成地における食味官能試験。外観, 香り, 総合については-3 (かなり不良) ~ 0 (基準と同じ) ~ +3 (かなり良), 粘りは-3 (かなり弱) ~ 0 (基準と同じ) ~ +3 (かなり強), 硬さは-3 (かなり軟い) ~ 0 (基準と同じ) ~ +3 (かなり硬い) を表す。発芽玄米は, 30℃, 16時間浸漬処理した玄米を使用。スノーパールは, スノーパールのブレンド比率に応じて水分を減じて炊飯。

\*\*は符号検定により1%水準, \*は5%水準で有意差あり。

表20 玄米中のGABA含量

品種名	GABA含量 (mg/玄米100g)		
	2001年	2004年	2年平均
恋あずさ	11.0	13.0	12.0
あきたこまち	1.0	2.0	1.5

注) (財)日本食品分析センターによる玄米100g当たりの測定値。分析はアミノ酸分析法による。2001年は2001年産「あきたこまち」, 2000年産「恋あずさ」, 2004年はいずれも2004年産玄米を使用。

20%の「あきたこまち」の発芽玄米(基準)と20%の「恋あずさ」の発芽玄米を比較すると、「恋あずさ」の発芽玄米は、総合値ではやや劣るが、粘り、硬さではほとんど差がなく、白米どうして比較した表18と比べるとその食味の差は小さくなった。また、ブレンドする白米を低アミロース米の「スノーパール」にした場合、同じブレンド比率の「あきたこまち」の発芽玄米と比べると、粘り、香りが上回り、総合でもやや優った。

#### 4. GABA含量

育成地で生産された玄米中のGABA含量は、2年平均で12.0 mg/玄米100gとなり、「あきたこまち」と比べて8倍であった(表20)。また、長野県で現地栽培された「恋あずさ」の玄米及び発芽玄米の遊離アミノ酸含量の分析結果を表21に示す。玄米中ではGABAの基質となるグルタミン酸が33.3 mg/玄米100gと「コシヒカリ」と比較して約1.4倍多く、GABAについても8.1 mg/玄米100gと約1.2倍多く含まれていた。加工した発芽玄米については、GABA含量は24.2 mg/玄米100gで「コシヒカリ」の発芽玄米の1.6倍であった。また、秋田県産の「恋あずさ」の発芽玄米と「あきたこまち」及び産地が異なる「コシヒカリ」から作製された発芽玄米のGABA含量を比較すると、ソフトタイプでは「あきたこまち」の1.6倍、「コシヒカリ」の1.6~1.8倍と高くなった(表22)。

表 21 遊離アミノ酸等含量（長野県食品工業試験場）

アミノ酸	mg/100g			
	玄米		発芽玄米	
	恋あずさ	コシヒカリ	恋あずさ	コシヒカリ
γ-アミノ酪酸 (GABA, ギャバ)	8.1	6.8	24.2	15.1
グルタミン酸	33.3	23.4	10.7	7.2
アスパラギン酸	27.3	19.3	2.8	3.7
スレオニン	6.3	6.1	3	2.7
セリン	5.5	4.8	4.2	2.5
グリシン	1.4	1.1	3	1.7
アラニン	8.5	5.3	18.5	12.2
シスチン	0	0	0.5	0
バリン	1.6	1.3	4.3	2.8
メチオニン	0.5	0.9	1.5	1.2
イソロイシン	0.4	0.	1.3	1.5
ロイシン	0.6	0.8	3.3	2.6
チロシン	3.4	1.3	2.8	2.4
フェニールアラニン	2.0	1.8	3.3	3.3
リジン	0.6	1.3	4	1.8
アンモニア	2.6	1.7	2.1	2.8
ヒスチジン	1.3	1.5	2.9	2.7
アルギニン	23.3	4.8	11	7.2
プロリン	1.5	0	2.4	0

注) 玄米の分析値は、「恋あずさ」が2005年、「コシヒカリ」が2003年。発芽玄米の分析値は、「恋あずさ」が2004年と2005年の2年平均。「コシヒカリ」が2003年産。いずれも長野県産。

表 22 発芽玄米試作品の GABA 含量

品種名	生産地	製造タイプ	GABA 含量 (mg/100g)
恋あずさ	秋田県	ハード	20.0
恋あずさ	秋田県	ソフト	18.3
あきたこまち	秋田県	ソフト	11.7
コシヒカリ	新潟県	ソフト	11.7
コシヒカリ	山形県	ソフト	10.1

注) 28℃22時間の浸漬処理後の分析値。分析は、株式会社大潟村あきたこまち生産者協会による。使用した玄米は2003年産。製造タイプは、ハードタイプ：発芽玄米をそのまま乾燥させたもの、ソフトタイプ：ハードタイプの炊飯性・食感を良くするため、発芽玄米の表皮を軽く削ったもの。

## 適地及び栽培上の留意点

### 1. 配付先における試作結果

1995～1996年に新潟県、2003～2004年に長野県において奨励品種決定調査に供試された。その結果を表23に示す。新潟県では収量性は年次変動があったが「あきたこまち」並、長野県では、「あきたこまち」よりやや少収であった。現在のところ、奨励品種採用の予定はない。

### 2. 適地

出穂期、成熟期が「あきたこまち」と同じである

こと、また奨励品種決定調査の結果から、東北地域及び東北地域以南が栽培適地であると判断される。

### 3. 普及上の留意点

- 1) いもち病抵抗性が葉いもち、穂いもちともに“弱”であるため、適期防除を徹底する。
- 2) 穂発芽性が“やや易”であるため、刈り遅れに注意し適期収穫に努める。
- 3) 育苗時に出芽率が一般品種と比べて劣るため、播種量を通常の約1.5倍量に増やして出芽数を確保する。



表23 奨励品種決定調査

試験地	有望度及び収量比 (%)				比較・対照品種
	1995	1996	2003	2004	
新潟	△×90	△×119	—	—	あきたこまち (比較)
長野	—	—	△72	△88	あきたこまち (対照)

注) 長野：長野県農事試験場  
 新潟：新潟県中央農業総合センター  
 ○：有望，△：普通（試験継続），×：廃棄（試験打ち切り）

## 育成従事者

育成に従事した者及びその期間は表24のとおりである。

## 考 察

### 1. 期待される効果

「恋あずさ」の発芽玄米は、今後、特色のある米作りによって地域ブランドを目指す生産地、あるいは食品産業との連携により積極的にビジネス展開を図る生産者や生産組織にとって有効な素材になるものと期待される。さらに、発芽玄米の粉体利用によりパン、菓子、飲料など多様な商品開発が進んでいくことから、今後米の消費拡大に貢献できる米粉としての利用が進むことを期待したい。「恋あずさ」は、出穂期が育成地において「早生の晩」であることから東北地域において広域的に栽培できる熟期であり、耐冷性にも優れることから、寒冷地向きの加工用、業務用途米として普及することを期待している。

現在、長野県松本市梓川地域（旧南安曇郡梓川村）では、株式会社ファインフーズ梓川により地元産「コシヒカリ」を原料として発芽玄米の製造・販売事業が行われている。現地においては、2001年から「恋あずさ」の現地栽培試験を実施しており、既に発芽玄米の試作品が開発されている（写真4）。

### 2. 残された問題点

「恋あずさ」の問題点として、育苗時の出芽率が一般品種に比べて劣ることがあげられる。これまで育成された巨大胚梗品種「はいみのり」では、発芽力自体は通常品種と大きな差はないものの、発芽後に鞘葉が伸長停止することにより出芽率が低下することが報告されている（根本ら 2001）。この低出芽率の要因としては、高い奇形発生率と種子から溶出する全糖量の多さが要因である可能性が指摘さ

れ、育苗に際しては、もみから成型マットを使用し、播種量を乾籾 270g/箱にすることで田植機適応性のある苗が育苗できるとされている（白土ら 2002）。また、巨大胚糯品種「めばえもち」については、一般品種に比べると2割程度の出芽率の低下があり、出芽率を高めるには25℃以上で出芽させること、覆土を2cm以上にしないことが注意点としてあげられている（上原ら 2003）。以上のことを踏まえて、「恋あずさ」の育苗に際しても、播種量の増量、適切な覆土深、加温による出芽が出芽率向上の有効な対策になると考えられる。

2005年3月に農林水産省より発表された新たな「食料・農業・農村基本計画」において、農業と食品産業との連携は今後の重要な推進すべき施策の一つになっている。今後、生産者は生産から加工、流通、販売に至るまでを想定した総合的なビジョンを自ら描く必要がある。そのためには、行政、JA、研究機関、食品業界など関係機関との連携が重要なポイントとなる。加工、業務用水稲品種はまだ少ないが、「恋あずさ」のような品種を素材に、積極的な取り組みが各地で進んでいくことを期待したい。

## 引用文献

- 1) 石崎和彦. 2004. 「越車」巨大な胚芽をもつ早生. 現代農業 85(2): 270.
- 2) 片岡知守, 小林渡, 館山元春, 春原嘉弘, 須藤充, 菅原浩視, 高橋真博, 照井儀明, 扇良明, 宮野法近, 永野邦明, 佐野智義, 中場理恵子, 斉藤真一, 半沢信治, 杉浦和彦, 大竹敏也, 加藤浩, 山口誠之. 2001. 東北地域における水稲葉いもち圃場抵抗性新基準品種の選定. 東北農業研究 54: 15-16.

表 24 育成従事者と育成期間

年次	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	在任月数	現在の所属
世代	交配	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub> ~ F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>	F <sub>10</sub>	F <sub>11</sub>	F <sub>12</sub>	F <sub>12</sub>	F <sub>13</sub>	F <sub>14</sub>	F <sub>15</sub>	F <sub>16</sub>			
(室長)																			
山口 誠之														⑩			③	42	現在員
滝田 正									④					⑨				54	作物研
東 正昭	④									②								95	元近中四農研
(室員)																			
片岡 知守									⑧								③	92	現在員
遠藤 貴司															⑩		③	18	現在員
中込 弘二															⑧		③	32	現在員
横上 晴郁					⑩												⑨	120	北農研
加藤 浩													②				⑨	20	作物研
山口 誠之	④																⑧	125	現在員
田村 泰章					④				⑨									42	国際農研
小綿 寿志			④						③									36	花巻農改セ
小山田善三	④		③															24	青森県在住
春原 嘉弘	④		③															24	近中四農研

注) ○印はその年次における月の始まり，または終わりを表す。  
 作物研：作物研究所，近中四農研：近畿中国四国農業研究センター，北農研：北海道農業研究センター，国際農研：国際農林水産業研究センター沖縄支所，花巻農改：岩手県花巻農業改良普及センター



写真 4 「恋あずさ」の発芽玄米試作品

(上：株式会社大潟村あきたこまち生産者協合作製，下：株式会社ファインフーズ梓川作製)

- 3) 加藤浩，小林渡，館山元春，須藤充，春原嘉弘，佐々木力，扇良明，小田中浩哉，千葉文弥，永野邦明，真崎聡，松本眞一，結城和博，横尾信彦，齐藤眞一，半沢伸治，遠藤征馬，加藤恭宏，横上晴郁，滝田正，片岡知守，山口誠之。2001. 東北地域における水稻穂いもち圃場抵抗性判定のための新基準品種。東北農業研究 54：13-14.
- 4) 根本博，飯田修一，前田英郎，石井卓朗，中川

- 宣興，星野孝文，坂井真，岡本正弘，篠田治躬，吉田泰二。2001. 巨大胚新水稻品種「はいみのり」の育成。中国農研報 22：25-40.
- 5) 岡田忠司，杉下朋子，村上太郎，村井弘道，三枝喜代，堀野俊郎，小野田明彦，梶本修身，高橋励，高橋丈夫。2000.  $\gamma$ -アミノ酪酸蓄積脱脂コメ胚芽の経口投与における更年期障害及び初老期神経障害に対する効果。日本食品科学工

- 学会誌 47 : 596-603.
- 6) Satoh, H.; Omura, T. 1981. New endosperm mutations induced by chemical mutagen in rice, *Oryza sativa* L. Japan. J. Breed. 31 : 316-326.
- 7) Saikusa, T.; Horino, T.; Mori, Y. 1994a. Accumulation of Gamma-Aminobutyric Acid (Gaba) in rice germ during water soaking. Biosci. Biotech. Biochem. 58(12) : 2291-2292.
- 8) Saikusa, T.; Horino, T.; Mori, Y. 1994b. Distribution of free amino acids in the rice kernel and kernel fractions and the effect of water soaking on the distribution. J. Agric. Food Chem. 42 : 1122-1125.
- 9) 齊藤ひろみ, 小久保清子, 中田裕子, 大森正司, 三枝貴代, 堀野俊郎, 森隆. 1995. 水浸漬胚芽米によるラット血圧上昇抑制作用について. 日本食品科学工学会第42回大会講演集 : 139.
- 10) 白土宏之・大平陽一・高梨純一. 2002. 巨大胚水稲品種はいみのりにおける田植機適応性のある苗の育苗法. 日作紀 71 : 76-83.
- 11) 上原泰樹, 小林陽, 古賀義明, 太田久稔, 清水博之, 三浦清之, 福井清美, 大槻寛, 小牧有三, 笹原英樹, 堀内久満, 後藤明俊, 奥野員敏. 2003. 水稲新品種「めばえもち」の育成. 中央農研研報 2 : 63-81.

付表 1 稲種苗特性分類一覧

形質 番号	形質及び状態又は区分	恋あずさ		あきたこまち		めばえもち	
		階級	区分	階級	区分	階級	区分
(特性グループ 1)							
1	葉：アントシアニン着色	1	無	1	無	1	無
3	葉：葉耳のアントシアニン色	1	無	1	無	1	無
5	止葉：葉身の姿勢（後期観察）	4	半立～水平	4	半立～水平	3	半立
6	出穂期（50%出穂）	4	早生～中生	4	早生～中生	4	早生～中生
7	外穎：頂部アントシアニン着色（初期観察）	1	無又は極淡	1	無又は極淡	1	無又は極淡
8	稈：長さ（穂を除く）	3	短	5	中	4	短～中
9	稈：節のアントシアニン着色	1	無	1	無	1	無
10	穂：主軸の長さ	5	中	5	中	5	中
11	穂：穂数	6	中～多	5	中	6	中～多
12	穂：芒の分布	1	先端のみ	3	上半分のみ	3	上半分のみ
13	小穂：外穎の毛茸の多少	5	中	5	中	5	中
14	小穂：外穎先端の色（ふ先色）	1	白	1	白	3	褐
15	穂：主軸の湾曲程度	5	垂れる	5	垂れる	5	垂れる
16	穂：穂型	2	紡錘状	2	紡錘状	2	紡錘状
17	成熟期	4	早生～中生	4	早生～中生	4	早生～中生
18	穎色	1	黄白	1	黄白	1	黄白
19	穎色：模様	1	無	1	無	3	茶色の溝
20	外穎：頂部のアントシアニン着色	1	無又は極淡	1	無又は極淡	1	無又は極淡
21	護穎：長さ	5	中	5	中	5	中
22	護穎：色	1	黄白	1	黄白	1	黄白
23	籾：1000粒重（成熟）	3	小	4	小～中	3	小
24	籾：穎のフェノール反応	1	無	1	無	1	無
26	玄米：長さ	4	短～中	5	中	5	中
27	玄米：幅	6	中～太	5	中	5	中
28	玄米：形（側面から見て）	2	半円	2	半円	2	半円
29	玄米：色	2	淡褐	2	淡褐	1	白
30	玄米：香り	1	無又は極弱	1	無又は極弱	1	無又は極弱
(特性グループ 2)							
31	鞘葉：アントシアニンの着色	1	無色又は極少	1	無色又は極少	1	無色又は極少
32	根出葉：鞘葉の色	1	緑	1	緑	1	緑
33	葉：緑色の程度	5	中	5	中	5	中
34	葉鞘：アントシアニンの着色	1	無	1	無	1	無
36	葉身：表面の毛茸	5	中	5	中	5	中
37	葉：襟のアントシアニン着色	1	無	1	無	1	無
38	葉：葉舌の形	2	鋭形	2	鋭形	2	鋭形
39	葉：葉舌の色	1	無色	1	無色	1	無色
40	葉：葉身の長さ	5	中	5	中	5	中
41	葉：葉身の幅	5	中	5	中	5	中
42	稈：形状	3	半立	3	半立	3	半立
45	外穎：キール（竜骨）のアントシアニン着色	1	無又は極淡	1	無又は極淡	1	無又は極淡
46	外穎：頂部下のアントシアニン着色	1	無又は極淡	1	無又は極淡	1	無又は極淡
47	小穂：柱頭の色	1	白	1	白	1	白
48	稈：太さ	5	中	4	やや細	5	中
50	稈：節間のアントシアニン着色	1	無	1	無	1	無
51	穂：芒	9	有	9	有	9	有
52	穂：芒の色（初期観察）	1	黄白	1	黄白	5	淡赤
53	穂：最長芒の長さ	1	極短	4	短～中	1	極短
54	穂：芒の色（後期観察）	1	黄白	1	黄白	3	褐
55	穂：2次枝梗の有無	9	有	9	有	9	有
56	穂：2次枝梗の型	2	2型	2	2型	2	2型
57	穂：抽出度	5	抽出(穂だけ)	7	概ね抽出	5	抽出(穂だけ)
58	葉：老化（枯れ上がり）	7	晩	7	晩	7	晩
59	外穎：キール（竜骨）のアントシアニン着色	1	無又は極淡	1	無又は極淡	1	無又は極淡
60	外穎：頂部下のアントシアニン着色	1	無又は極淡	1	無又は極淡	1	無又は極淡
61	籾：長さ	4	短～中	5	中	5	中
62	籾：幅	6	中～太	5	中	5	中
63	胚乳：型	3	粳	3	粳	1	糯
64	胚乳：アミロース含量	4	4型	4	4型	1	1型
65	精米：アルカリ崩壊	3	低崩壊	4	低崩壊～中間	3	低崩壊
68	障害型耐冷性	8	極強	5	中	3	弱
70	穂発芽性	4	やや易	5	中	5	中
71	耐倒伏性	7	強	5	中	6	やや強
72	脱粒性	7	難	7	難	7	難
73	地上部全重	5	中	5	中	5	中
74	いもち病抵抗性推定遺伝子型	11-2	<i>Pia, Pik</i>	11-1	<i>Pia, Pii</i>	1-1	<i>Pia</i>
75	穂いもちほ場抵抗性	3	弱	4	やや弱	4	やや弱
76	葉いもちほ場抵抗性	3	弱	5	中	5	中
78	白葉枯病ほ場抵抗性	6	やや強	4	やや弱	5	中
79	しま葉枯病抵抗性品種群別	1	日本水稻型(+)	1	日本水稻型(+)	1	日本水稻型(+)
(特性グループ 3)							
	草型	5	中間	6	偏穂数	6	偏穂数
	玄米：外観品質	6	中下	3	上下	3	上下
	食味（炊飯米）	5	中中	2	上中	—	—
	胚芽の大きさ	7	大	5	中	7	大

付表2 指定種苗品種特徴表示に基づく品種特性表示基準

品種名(育成場所)	恋あずさ(東北農業研究センター)
栽培適地	東北地域以南
用途	食用, 加工用(発芽玄米等)
早晩性	早生の晩
稈長	短
草型	中間
耐倒伏性	強
耐冷性	極強
いもち病	弱
白葉枯病	やや強
縞葉枯病	無
玄米のみかけの品質	中下
栽培上の注意	いもち病は適宜防除を徹底する。 穂発芽性が“やや易”であるため,刈り遅れに注意する。

## ダイズモザイクウイルス抵抗性の納豆用極小粒ダイズ 新品種「すずかおり」の育成

河野 雄飛<sup>\*1)</sup>・湯本 節三<sup>\*1)</sup>・高田 吉文<sup>\*1)</sup>・加藤 信<sup>\*1)</sup>  
 島田 信二<sup>\*2)</sup>・境 哲文<sup>\*3)</sup>・島田 尚典<sup>\*4)</sup>・高橋 浩司<sup>\*2)</sup>  
 故 足立大山<sup>\*5)</sup>・田渕 公清<sup>\*6)</sup>・菊池 彰夫<sup>\*7)</sup>・中村 茂樹<sup>\*8)</sup>  
 伊藤美環子<sup>\*9)</sup>・番場 宏治<sup>\*10)</sup>

抄 録：「すずかおり」は、1992年にダイズモザイクウイルス抵抗性で小粒・良質の「刈交778F<sub>3</sub>」を母に、東北地方の納豆用の極小粒品種「コスズ」を父として人工交配を行い、以後、選抜・固定を図り、育成した品種である。本品種はダイズモザイクウイルスのA, B, CおよびDの各系統に抵抗性であり、「コスズ」と比べ倒伏抵抗性が強い。子実収量は育成地では転換畑において「コスズ」とほぼ同じ、普通畑において「コスズ」より多収であり、山形県では「鈴の音」より多収である。

粒の大きさは「コスズ」と同じ“極小”に属し、臍色は“黄”，種皮色は“黄白”である。裂皮の難易は「コスズ」より優れる“難”で、外観品質は「コスズ」と同じ“中の上”である。子実中の粗蛋白質含有率，粗脂肪含有率ともに中で，納豆加工適性は“良好”である。

栽培適地は東北中南部である。2004年に認定品種として採用した山形県では，ダイズモザイクウイルスC, D系統が分布しているため，これらに抵抗性を示さない既存の納豆用品種「コスズ」，「鈴の音」の導入は困難であり，この点が改善された本品種の普及を進める。本品種は東北地方におけるダイズモザイクウイルスC, D各系統に抵抗性を有するはじめての納豆用品種である。

キーワード：極小粒，納豆加工適性，新品種，ダイズ，ダイズモザイクウイルス抵抗性

**A New Small-seed Soybean Cultivar, “Suzukaori,” with Resistance to Soybean Mosaic Virus** : Yuhi KONO<sup>\*1)</sup>, Setsuzo YUMOTO<sup>\*1)</sup>, Yoshitake TAKADA<sup>\*1)</sup>, Shin KATO<sup>\*1)</sup>, Shinji SHIMADA<sup>\*2)</sup>, Tetsufumi SAKAI<sup>\*3)</sup>, Hisanori SHIMADA<sup>\*4)</sup>, Koji TAKAHASHI<sup>\*2)</sup>, Taizan ADACHI<sup>\*5)</sup>, Kohsei TABUCHI<sup>\*6)</sup>, Akio KIKUCHI<sup>\*7)</sup>, Shigeki NAKAMURA<sup>\*8)</sup>, Miwako ITO<sup>\*9)</sup> and Hiroharu BANBA<sup>\*10)</sup>

**Abstract** : A new soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] cultivar called “Suzukaori,” registered as “Soybean Norin 127,” was developed for the use of fermented soybeans in 2004 at the National Agricultural Research Center for Tohoku Region. “Suzukaori” was derived from the cross of “Kariko

\* 1) 東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Kariwano, Daisen, Akita 019-2112, Japan)

\* 2) 現・作物研究所 (National Institute of Crop Science, Tsukuba, Ibaraki 305-8518, Japan)

\* 3) 現・九州沖縄農業研究センター (National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, Miyakonojo, Miyazaki 885-0091, Japan)

\* 4) 現・北海道十勝農業試験場 (Hokkaido Tokachi Agricultural Experiment Station, Memuro, Kasai, Hokkaido 082-0071, Japan)

\* 5) 元・国際農林水産業研究センター (Deceased, Japan International Research Center for Agricultural Sciences)

\* 6) 現・中央農業総合研究センター北陸研究センター (Hokuriku Research Center, National Agricultural Research Center, Joetsu, Niigata 943-0193, Japan)

\* 7) 現・近畿中国四国農業研究センター (National Agricultural Research Center for Western Region, Zentsuji, Kagawa 765-8508, Japan)

\* 8) 元・近畿中国四国農業研究センター (Retired, National Agricultural Research Center for Western Region)

\* 9) 現・北海道農業研究センター (National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, Sapporo, Hokkaido 062-8555, Japan)

\* 10) 元・北海道農業試験場 (Retired, Hokkaido National Agricultural Experiment Station)

2005年12月16日受付, 2006年2月9日受理

778 F<sub>5</sub>” x “Kosuzu,” selected for resistance to both Soybean Mosaic Virus (SMV) and lodging. It is classified in group II in terms of maturity. It has a medium stem height with determinate growth. It is resistant to SMV (strains A, B, C, and D). It shows similar productivity to “Kosuzu,” which is a leading cultivar for fermented soybeans, in drained paddy fields, and higher productivity than “Kosuzu” in upland fields. The seeds of “Suzukaori” are very small and dull whitish yellow with yellow hila. The protein and oil content of “Suzukaori” is medium. It has good stability for fermented soybeans. It would show good productivity in the middle and southern parts of the Tohoku district. “Suzukaori” is the first cultivar for fermented soybeans in the Tohoku district that is resistant to SMV strains C and D. It was released in 2004 as a new recommended cultivar in Yamagata prefecture.

**Key Words** : Glycine, Very small-size seed, New cultivar, Soybean, Soybean mosaic virus resistance, Fermented soybean suitability

## 緒 言

国産の納豆用小粒大豆については堅調な需要があり、東北地域では岩手、宮城および秋田県を中心に極小粒品種「コスズ」(長沢ら 1987)が作付けされている。また、岩手県では早熟な小粒品種「鈴の音」(中村ら 1996)が奨励品種に採用されている。しかし、両品種ともダイズモザイクウイルスのC、Dの二つの病原系統に抵抗性を持たないため、両系統が分布する東北南部での普及を困難にしている(田淵 1998, 御子柴 2001)。また、「コスズ」は耐倒伏性が弱く栽培しにくい難点がある。

そのため、東北農業研究センターでは、東北南部でも普及可能なダイズモザイクウイルスに強く耐倒伏性に優れた納豆用の極小粒品種の育成を進めてきた。このたび、これらの条件を満たす優良品種「すずかおり」(だいち農林127号)が2004年9月に命名登録され、山形県の認定品種に採用された。そこで品種登録と認定品種採用を機に、本品種の来歴、育成経過、特性について報告し、普及および今後の品種育成の参考に供する。

本品種の育成に当たり、山形県立農業試験場水田営農研究部(現山形県農業総合研究センター農業環境研究部)斎藤博行氏、阿部吉克氏、鈴木雅光氏および相澤直樹氏、庄内支場の柴田康志氏、山形県農業研究研修センター中山間地農業研究部の上林儀徳

氏および古賀千博氏、現地試験に携わった中場理恵子氏、武田公智氏および長谷川正俊氏には奨励品種決定調査をはじめ各種試験の実施を通じ、その特性把握と栽培方法の改善にご尽力いただいた。また、系統適応性検定試験、特性検定試験に当たられた関係国立農業試験研究機関の担当者各位には多大なご協力をいただいた。さらに育成地職員の鎌田精孝、大嶋清悦、千葉剛、佐藤英次、加藤昭、藤井修、佐藤光晴、高橋明浩、高貝久穂、佐藤康孝、高橋武志の各氏には育種業務の遂行にご尽力いただいた。ここに記して深く感謝する。

## 来歴および育成経過

### 1. 来 歴

「すずかおり」は、1992年に東北農業試験場作物開発部大豆育種研究室(現東北農業研究センター水田利用部大豆育種研究室(刈和野試験地))において、ダイズモザイクウイルス抵抗性で耐倒伏性に優れた納豆用極小粒品種の育成を目標に、ダイズモザイクウイルス抵抗性で耐倒伏性、小粒、良質の「刈交778F<sub>5</sub>」を母に、納豆用の極小粒品種「コスズ」を父として人工交配を行い、以後、選抜・固定を図って育成した品種である(図1)。

### 2. 育 成 経 過

納豆用極小粒品種の育成が目標なので、粒が小さく裂皮が少ない系統を選抜し、浸漬して石豆(浸漬

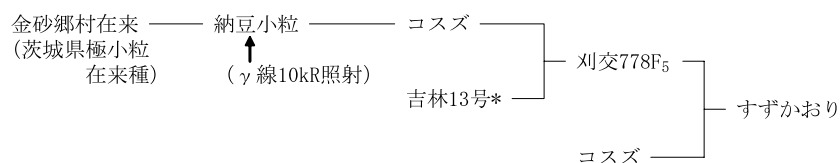


図1 「すずかおり」の系譜

\*: 中国吉林省農業科学院育成

しても吸水しない子実)が出た系統は廃棄する等特別の配慮を行った。

1999, 2000年には「刈系637号」として生産力検定予備試験, 系統適応性検定試験および特性検定試験等に供試した結果, ダイズモザイクウイルスに強く耐倒伏性も優れたことから2001年に「東北148号」の地方番号を付し, 以後, 生産力検定試験や奨励品種決定調査等に供試してきた。2003年における世代はF<sub>11</sub>である(表1)。2003年に主要な形質について系統間および個体間の変異を検討した結果(表2), 実用的に支障のない程度に固定しているものと認められた。

2004年に「すずかおり」(だいず農林127号)と命名登録され, 山形県の認定品種に採用された。

### 特性の概要

#### 1. 形態的および生態的特徴

「すずかおり」と標準・比較品種の主要な形態的および生態的特性について, 表3および表4に示した。いずれも「種苗特性分類調査報告書 だいず」(だいず種苗特性分類調査委員会 1995)に従い, 原則として育成地での調査結果に基づいて分類した。

#### 1) 形態的特性

胚軸色および花色は“紫”, 小葉の形は“円葉”, 毛茸色は“白”, その多少は“中”で, いずれも「コスズ」と同じである。主茎長と主茎節数は「コスズ」の“長”と“多”に対し, それぞれ“中”である。分枝数は“多”で「コスズ」と同様である。伸育型は“有限伸育型”で, 熟莢色は“淡褐”である。粒の大小は「コスズ」と同じ“極小”に属し, 粒形は“球”である。種皮色および臍色はそれぞれ「コスズ」と同じ“黄白”および“黄”で, その光沢は“弱”である。

#### 2) 生態的特性

開花期は「コスズ」の“中の晩”に対し“中”で, 成熟期は「コスズ」と同じ“中”である。生態型は“中間型”である。倒伏抵抗性は「コスズ」の“中”に対し“強”, 裂莢の難易は同じ“中”である。最下着莢節位高は「コスズ」の“中”に対し“低”である。ダイズモザイクウイルスのA, B, CおよびD系統に対しそれぞれ抵抗性で, ウイルス病圃場抵抗性は「コスズ」の“中”に対し“強”である。ダイズシストセンチュウ抵抗性は「コスズ」と同じ“弱”である。子実収量は「コスズ」に比較して,

表1 育成経過

年次	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
世代	交配	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>	F <sub>10</sub>	F <sub>11</sub>
供試	系統群数					15	6	3	2	1	1	1
	系統数				95	75	30	15	14	7	7	7
	個体数	101花	59	2788	1410	×25	×25	×25	×25	×25	×25	×25
選抜	系統数				15	6	3	2	2	1	1	1
	個体数	36莢	57		95	75	30	15	14	7	7	7
	粒数	59	10736	8200								
備考									刈系637号		東北148号	

表2 固定度に関する調査成績(育成地)

品種名	主茎長		主茎節数			分枝数		百粒重				
	平均値 (cm)	変動係数		平均値 (節)	変動係数		平均値 (本)	変動係数				
		系統間 (%)	個体間 (%)		系統間 (%)	個体間 (%)		系統間 (%)	個体間 (%)			
すずかおり	80.5	3.7	8.6	17.8	2.2	5.8	7.4	4.1	18.1	11.0	0.9	5.6
コスズ	101.1	3.8	14.7	19.1	2.6	8.7	8.2	4.9	20.6	11.7	2.6	5.5

備考) 1. 試験は2003年に栽植様式が畦幅75cm, 株間12cm, 1株1本立で実施。

2. すずかおり, コスズは各7系統について各16個体を調査し, 系統の平均値間ならびに個体間変動係数を求めた。



水田転換畑では同程度であるが、普通畑標準播種期(以下、標準播と略す)と普通畑晩播ではやや多収である。

## 2. 品質と加工適性

### 1) 粒大、裂皮性および子実成分

「すずかおり」の育成地での粒度分布は、粒大が“極小”に属する「コスズ」とほぼ同じか、若干粒

度が小さい方に偏っている(表5)。また、「すずかおり」の子実の幅/長さ、厚さ/幅の2つの値から、粒形は“球”に分類される(表6)。

育成地における生産力検定試験、山形県の試験成績から外観品質はほぼ「コスズ」並の“中上”と判定される。また、これらの試験の裂皮発生程度および吸水裂皮検定法(村田ら 1991)による成績(表

表3 形態的特性

品種名	胚軸の色	小葉の形	花の色	毛茸			主茎長	主茎節数	分枝数	伸育型	熟莢色	粒			種子葉色	皮色	臍色
				多	形	色						大	粒	光沢			
すずかおり	紫	円葉	紫	中	直	白	中	中	多	有限	淡褐	極小	球	弱	黄	黄白	黄
コスズ	紫	円葉	紫	中	直	白	長	多	多	有限	淡褐*	極小*	球*	弱	黄	黄白	黄
鈴の音	紫	長葉	紫	中	直	白	中	中	中	有限	褐	小	球	弱	黄	黄	黄
スズユタカ	紫*	円葉*	紫*	中*	直*	白*	中*	中*	中*	有限*	暗褐*	中	扁球*	弱*	黄*	黄白*	黄*

備考) 1. 「だいず品種特性分類審査基準」による。原則として育成地での調査に基づいて分類。

2. \*印は当該形質について標準品種になっていることを示す。

表4 生態的特性

品種名	開花期	成熟期	生態型	裂莢の難易	最下着莢節位高	倒伏抵抗性	病害抵抗性						
							モザイクウイルス					ウイルス病圃場抵抗性	シストセンチュウ
							A	B	C	D	E		
すずかおり	中	中	中間型	中	低	強	強	強	強	強	弱	強	弱
コスズ	中の晩	中	中間型	中	中	中	強	強	弱	弱	弱	中	弱
鈴の音	中の早	早の晩	中間型	中	中	強	強	強	弱	弱	弱	中	弱
スズユタカ	中の晩*	中の晩*	中間型*	中*	中*	中*	強*	強*	強*	強*	弱	強*	強*

備考) 1. 「だいず品種特性分類審査基準」による。原則として育成地での調査に基づいて分類。

2. \*印は当該形質について標準品種になっていることを示す。

表5 粒度分布(育成地)

品種名	年次	4.9mm未満	4.9mm～5.4mm	5.5mm～6.0mm	6.1mm～6.6mm	6.7mm～以上	百粒重(g)
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
すずかおり	2002	3.6	59.2	36.3	0.9	0.0	9.2
	2003	0.8	40.9	55.3	3.0	0.0	11.4
	平均	2.2	50.1	45.8	2.0	0.0	10.3
コスズ	2002	3.4	61.8	34.3	0.5	0.0	8.4
	2003	0.6	12.5	74.1	12.8	0.0	12.8
	平均	2.0	37.2	54.2	6.7	0.0	10.6
鈴の音	2002	0.0	43.6	56.1	0.3	0.0	9.9
	2003	0.2	7.9	65.4	26.3	0.2	14.8
	平均	0.1	25.8	60.8	13.3	0.1	12.4

備考) 測定には500gを使用。

表6 粒形調査成績（育成地）

品種名	年次	粒の			幅/長さ	厚さ/幅	判定	既往の評価
		長さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)				
すずかおり	2002	5.34	5.24	4.87	0.98	0.93	球	
	2003	5.81	5.54	5.03	0.95	0.91	球	-
	平均	5.58	5.39	4.95	0.97	0.92	球	
コスズ	2002	5.4	5.22	4.55	0.97	0.87	球	
	2003	6.20	5.81	5.14	0.94	0.88	球	球*
	平均	5.80	5.52	4.85	0.95	0.88	球	
鈴の音	2002	5.63	5.22	4.96	0.93	0.95	球	
	2003	6.27	5.95	5.60	0.95	0.94	球	球
	平均	5.95	5.58	5.28	0.94	0.95	球	

備考) 1. 測定値は50粒の平均値。  
 2. 判定は「だいず品種特性審査要領」による。既往の評価の\*印は粒形の標準品種になっていることを示す。  
 3. “球”は幅/長さが0.90以上で厚さ/幅が0.85以上である。

表7 吸水裂皮検定法による裂皮性試験成績（育成地）

品種名	年次	裂皮粒率 (%)	判定	既往の評価
すずかおり	2002	8.3	難	
	2003	21.0	中	-
	平均	14.7	難	
コスズ	2002	20.7	中	
	2003	33.5	中	中
	平均	27.1	中	
鈴の音	2002	6.7	難	
	2003	31.0	中	やや難
	平均	18.9	難	

備考) 1. 検定法：30℃・13時間吸水後，30℃・湿度80%で8時間以上乾燥。  
 2. 判定は、難：20.0%以下，中：20.1～60.0%，易：60.1～100%。

7) から、「すずかおり」の裂皮の難易は「コスズ」よりも優れ、「鈴の音」並の“難”と判定される。

「すずかおり」の粗蛋白質含有率は，“中”の標準品種である「スズユタカ」と比べ普通畑標準播、転換畑標準播では高く、普通畑晩播ではほぼ同等であったが、いずれも“高”の標準品種である「エンレイ」よりは低く、分類上「スズユタカ」と同じ“中”に属する（表8）。粗脂肪含有率は「コスズ」よりは高いが，“中”の標準品種である「スズユタカ」よりやや低いかほぼ同等であり、分類上も同じ“中”に属する。

## 2) 納豆加工適性

納豆加工適性については、育成地における石豆検定試験、国産大豆協議会品質評価分科会における茨城県工業技術センターおよび納豆製造業2社の納豆加

表8 子実成分検定試験成績（育成地）

品種名	粗蛋白質含有率(%)			粗脂肪含有率(%)		
	普通畑 標準播	普通畑 晩播	転換畑 標準播	普通畑 標準播	普通畑 晩播	転換畑 標準播
すずかおり	43.1	40.9	42.2	18.8	19.7	19.8
コスズ	45.2	44.1	45.6	17.5	18.3	18.4
鈴の音	44.7	42.5	44.0	19.2	19.9	19.6
スズユタカ（標準）	40.4	39.5	40.6	20.2	20.5	19.9
エンレイ（標準）	44.3	44.0	45.2	19.5	18.8	18.8

備考) 1. 値は2001～2003年の平均値。  
 2. 分析は近赤外分光分析法による無水分中の含有率。窒素蛋白質換算係数は6.25。スズユタカは粗蛋白質含有率“中”（40.1～44.0%）と粗脂肪含有率“中”（19.0～21.9%）の標準品種。エンレイは粗蛋白質含有率“高”（44.1～48.0%）の標準品種。

工適性試験，山形県における県内実需者による納豆加工試験を実施した。育成地における石豆検定試験では，「すずかおり」は「コスズ」，「鈴の音」と同様に納豆加工の際に問題となる石豆（浸漬しても吸水しない子実）の発生は見られなかった（表9）。

茨城県工業技術センターにおいて2001年，2002年の2か年にわたって納豆加工試験を行ったところ，育成地産「すずかおり」，「コスズ」とも蒸煮後（煮豆），発酵後（納豆）の硬さと色調には問題なく（表10），重量増加比も問題なかった（表11）。官能評価においても「コスズ」で少しアンモニア臭が感じられることがあるのに対し「すずかおり」は色に差があるが問題になるほどではなく，他は全国標準品種の「スズマル」と差がないと評価された（表12）。以上より「すずかおり」の納豆加工適性が「スズマル」並であることから，国産大豆協議会品質評価分科会から2か年にわたり“好適”と判定された。

表9 石豆検定試験成績（育成地）

品種名	年次	石豆率 (%)
すずかおり	2001	0
	2002	0
	2003	0
	平均	0
コスズ	2001	0
	2002	0
	2003	0
	平均	0
鈴の音	2001	-
	2002	-
	2003	0
	平均	0

備考) 検定法：裂皮や各種被害粒を100粒をポリコップに入れ，蒸留水を十分に注ぎ，恒温器内で20℃・16時間放置後，吸水していない粒を計数。

表10 茨城県工業技術センターによる納豆加工試験（硬さおよび色調）

試験名	品種名	栽培年次	栽培条件	硬さ (g)	色調			
					L*	a*	b*	
納豆	すずかおり	2001	普通畑・標準播	65.7	54.7	-	-	
			転換畑・標準播	62.5	56.1	-	-	
			普通畑・晩播	82.9	53.4	-	-	
	コスズ	2001	普通畑・標準播	65.7	57.6	-	-	
			転換畑・標準播	93.8	54.3	-	-	
			普通畑・晩播	70.7	57.0	-	-	
	スズマル（標準）		94.8	58.0	-	-		
煮豆	すずかおり	2002	普通畑・標準播	141.6	60.3	3.0	12.7	
			転換畑・標準播	141.2	60.6	3.1	13.1	
			普通畑・晩播	142.6	61.3	3.5	13.8	
		スズマル（標準）	2002		131.4	63.9	2.0	13.7
	コスズ	2002	普通畑・標準播	142.2	62.5	2.9	13.0	
			転換畑・標準播	149.9	61.2	3.1	12.6	
			普通畑・晩播	144.3	62.9	3.2	13.3	
		スズマル（標準）	2002		126.5	64.1	2.2	13.9
	納豆	すずかおり	2002	普通畑・標準播	66.2	58.8	2.6	11.5
				転換畑・標準播	73.7	57.9	3.0	12.0
				普通畑・晩播	70.6	58.9	3.0	13.2
			スズマル（標準）	2002		73.8	61.3	2.5
コスズ		2002	普通畑・標準播	69.6	60.8	2.4	14.7	
			転換畑・標準播	85.5	57.4	2.8	13.7	
			普通畑・晩播	70.2	59.0	2.9	14.5	
		スズマル（標準）	2002		77.5	60.1	2.0	14.5

備考) 色調のL\*, a\*, b\* は，それぞれ値が大きいほど，明るい，赤みが強い，黄色みが強い。

関東 T 社の試験では、育成地産「すずかおり」は納豆硬度、官能評価の硬さの点で「コスズ」と比較して顕著な差はなかった。また、「コスズ」、「鈴の音」と同等の優れた軟化率（納豆硬度／煮豆硬度）を示すことから充填適性に優れていた（表 13）。評価者のコメントによれば、劣化の指標であるシャリつき（チロシンの析出によるざらつき）が 10 日目まで感じられず、風味についてもやや濃くなるが極端な劣化はないことから、日持ちについても問題ないとされた。

東北 Y 社の試験では、「すずかおり」は「鈴の音」と比較して浸漬大豆不良率が低く、育成地産「すずかおり」煮豆の色が優れており、「鈴の音」に見ら

れるくずれがなかった（表 14, 15）。納豆では味と総合評価で育成地産「コスズ」に及ばないものの、硬さ、色および総合評価では「鈴の音」と比較して高い評価を得ており、高い軟化率を示し（表 16）、皮がしっかりとしてくずれが少なく充填適性に優れており、日持ちも問題ないという評価を得た。

山形県内実需者の試験では、2002 年に県内で収穫された山形県産「すずかおり」は色や外観が良く、総合評価も良好であるとの評価を得た（表 17）。

以上から、「すずかおり」は納豆の製造し易さ、官能評価、日持ち等は概ね良好であり、納豆加工適性は良好であると判断される。

表 11 茨城県工業技術センターによる納豆加工試験（重量増加比）

品種名	栽培条件	百粒重 (g)	蛋白質 (%)	脂肪 (%)	重量増加比	
					浸漬比	蒸煮比
すずかおり	普通畑・標準播	9.1	42.8	19	2.33	2.22
	転換畑・標準播	9.4	42.1	19.4	2.30	2.22
	普通畑・晩播	9.4	40.1	19.7	2.34	2.25
スズマル（標準）					2.42	2.28

備考) 2002年育成地産大豆を使用。

表 12 茨城県工業技術センターによる納豆加工試験（官能評価）

品種名	生産年次	栽培条件	官能評価								
			菌被り	溶菌状態	われ潰れ	色	香り	硬さ	味	糸引き	総合評価
すずかおり	2001	普通畑・標準播	3.11	3.11	3.11	2.89	3.22	3.22	3.11	3.11	2.89
		普通畑・晩播	3.33	3.33	3.22	2.44	3.22	2.11	2.78	3.33	2.67
		転換畑・標準播	2.33	2.56	3.22	3.22	2.67	3.44	3.11	3.00	3.33
コスズ	2001	普通畑・標準播	2.40	2.30	3.10	3.00	3.00	3.30	3.20	3.20	3.30
		普通畑・晩播	2.80	2.90	3.00	3.30	2.80	2.90	3.20	3.10	3.40
		転換畑・標準播	3.20	3.10	3.10	2.80	2.90	2.20	2.70	3.50	2.80
スズマル（標準）	2001		3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
すずかおり	2002	普通畑・標準播	2.4	2.9	2.8	2.5	3.0	2.9	3.0	2.9	2.7
		転換畑・標準播	2.5	2.9	3.0	2.4	2.9	2.3	2.9	3.1	3.0
		普通畑・晩播	2.4	2.7	3.0	2.7	3.0	3.0	3.0	3.0	3.1
コスズ	2002	普通畑・標準播	2.3	2.9	3.0	3.1	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0
		転換畑・標準播	2.7	2.8	3.0	2.6	2.9	2.3	2.9	2.9	2.9
		普通畑・晩播	2.7	2.9	3.0	3.3	2.9	3.0	3.2	3.1	3.1
スズマル（標準）	2002		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

備考) 製造法：原料大豆を洗浄し、20℃で16時間浸漬後、0.2MPaで30分蒸煮する。煮豆1gに対し宮城野菌約1000個を植菌し、50g PSP 容器に充填する。39℃、湿度90%、18時間発酵後、20℃、湿度50%、2時間さらに発酵させ、5℃で一晩熟成させて製造。

官能評価：「スズマル（標準）」を普通：3.00とする。菌被り、溶菌状態、われ潰れ、色、香り、硬さ、味、糸引き、総合評価については、高評価を5、普通を3、低評価を1の5段階評価とする。

表13 実需者による納豆加工試験(関東T社)

産地	品種名	納豆性状					官能評価				
		煮豆硬度(g)	納豆硬度(g)	軟化率(%)	納豆pH	納豆水分(%)	菌の被り	外観	糸引き	香り・味	硬さ
育成地 (転換畑)	すずかおり	141.1	69.8	50.5	7.52	58.8	3.0	3.0	5.0	3.0	3.0
	鈴の音	155.8	70.5	54.7	7.36	57.9	3.0	3.0	5.0	3.0	2.0
	コスズ	136.7	82.0	40.0	7.48	59.4	3.0	3.0	5.0	3.0	3.0
山形	すずかおり	149.9	70.7	52.8	7.33	57.5	3.0	3.0	5.0	3.0	3.0
	鈴の音	149.6	94.6	36.8	7.33	58.2	3.0	3.0	5.0	3.0	3.0

備考) 2002年産大豆を使用。

製造法: 原料は200g程度を使用。水洗後、約2リットルの水道水で、室温にて17時間浸漬。130℃前後で30分程度蒸煮。市販の宮城野納豆菌を熱湯で1000倍希釈し、煮豆100gに対して1ml接種、PSP容器に54~57g充填。40℃前後で17時間程度発酵。5℃の冷蔵庫で保管。

官能評価は、1:劣る、2:やや劣る、3:普通、4:やや良い、5:良いの5段階評価。

表14 実需者による納豆加工試験(原料評価, 東北Y社)

品種名	産地	百粒重(g)	浸漬大豆 重量増加比(%)	浸漬大豆 不良率(%)	石豆 (個/原料大豆100g)
すずかおり	育成地 (転換畑)	9.5	219	0.0	0
コスズ		8.4	225	0.0	0
鈴の音		11.1	212	0.3	1
すずかおり	山形	10.4	214	0.3	0
鈴の音		13.6	221	5.7	0

備考) 2002年産大豆を使用。

表15 実需者による納豆加工試験(煮豆, 東北Y社)

品種名	産地	硬度(g)	色調(L値)	官能			
				くずれ	硬さ	色	甘み
すずかおり	育成地 (転換畑)	142	44.8	+++	++	++	++
コスズ		127	44.8	+++	++	++	++
鈴の音		151	44.1	+++	++	+	++
すずかおり	山形	131	43.0	+++	++	+	++
鈴の音		144	41.8	++	++	+	++

備考) 2002年産大豆を使用。

製造法: 大豆を25℃・16時間浸漬, 123℃・35分蒸煮。

官能評価 煮豆のくずれ 多い(+/+ / +++)少ない, 硬さ 硬い(+/+ / +++)軟らかい  
色 濃い(+/+ / +++)薄い, 甘味 強い(+/+ / +++)弱い

表16 実需者による納豆加工試験(硬度, 色調および官能評価, 東北Y社)

品種名	産地	硬度(g)	色調(L値)	官能				総合評価
				硬さ	色	納豆臭	味	
すずかおり	育成地 (転換畑)	87.8	44.8	++	++	+++	++	3
コスズ		73.0	46.5	++	++	+++	+++	4
鈴の音		80.3	41.4	+	+	+++	++	2
すずかおり	山形	77.7	42.4	++	+	+++	++	3
鈴の音		94.7	41.7	+	+	+++	++	2

備考) 2002年産大豆を使用。

製造法: 蒸煮大豆に納豆菌 YF160を接種し、発酵は40℃で8時間、44℃で4時間半、40℃で2時間、25℃で2時間行い、5℃で一晩熟成した。

官能評価 硬さ 硬い(+/+ / +++)軟らかい, 色 濃い(+/+ / +++)薄い  
納豆臭 臭いが強い (+/+ / +++)臭いが少ない, 味 悪い(+/+ / +++)良い  
総合評価 5点評価(悪い: 1~良い: 5)

## 3. 病虫害抵抗性

## 1) ダイズウイルス病抵抗性

山形県立農業試験場および長野県中信農業試験場で実施された圃場におけるダイズウイルス病抵抗性検定試験での生育中の発病程度と褐斑粒の発生程度から、抵抗性はそれぞれ“強”あるいは“極強”と判定された(表18, 19)。また、育成地におけるダイズモザイクウイルス病原系統別の人工接種試験から、「すずかおり」はダイズモザイク

ウイルスのA, B, C, D各病原系統に抵抗性を有すると判定された(表20)。以上の結果を総合的に判断し、「すずかおり」のウイルス病抵抗性は“強”と判定される。

## 2) ダイズシストセンチュウ抵抗性

北海道十勝農業試験場によるダイズシストセンチュウ(*Heterodera glycines* Ichinohe)抵抗性検定試験圃におけるレース3の寄生度指数(表21)、栃木県農業試験場黒磯分場における葉色の黄化程度

表17 山形県内実需者による納豆の官能評価(2003年)

品種名	色	外観	香り	糸引き	味	硬さ	総合
すずかおり	0.81	0.81	0.67	0.67	0.67	0.48	0.52
鈴の音	0.65	0.90	0.65	0.95	0.70	0.55	0.45

備考) 原料大豆は2002年山形県産、納豆試作は山形県内K社。  
製造法: 15℃で12時間浸漬後、1.5kg/cm<sup>2</sup>で蒸煮。発酵は15時間。  
官能評価はパネラー21名による。個人の嗜好に基づき-2(不良)~0(普通)~2(良い)で評価。

表18 ダイズモザイク病抵抗性検定試験成績(山形県立農業試験場)

品種名	生育中における発病			褐斑粒調査(300粒調査)			既往の 評価
	発病率(%)	発病度	判定	褐斑粒率(%)	発病度	判定	
すずかおり	0.0	0.0	極強	0.3	0.1	強	-
ネマシラズ	80.0	17.5	強	75.0	57.3	弱	中
デナムスメ	0.0	0.0	極強	2.0	1.0	強	極強

備考) 1. 試験年次: 1999年(すずかおりは刈系637号時の成績)。  
2. 生育中の発病度はA: 無病徴, B: 病徴が判然としない, C: 軽微なモザイク症状, D: 縮葉症状が中程度, E: 縮葉症状が著しい, F: 縮葉症状が著しく生育が抑制, で判定し, 発病度 =  $(C+2D+3E+4F)/4(A+B+C+D+E+F) \times 100$ とした。  
褐斑粒調査の発病度はA: 褐斑が全くみられない, B: 僅かに褐斑を有する, C: 一見してわかる程度の褐斑を有する, D: 臍の大きさ程度の褐斑を有する, E: それ以上, で判定し, 発病度 =  $(B+2C+3D+4E)/4(A+B+C+D+E) \times 100$ とした。  
3. 判定: 発病度0: 極強, 0.1~20: 強, 20.1~50: 中, 50.1~80: 弱, 80.1~: 極弱。  
4. 既往の評価は「だいたひ品種特性分類審査基準」による。

表19 ダイズウイルス病抵抗性検定試験成績(長野県中信農業試験場)

品種名	生育中における発病			褐斑粒調査(300粒調査)			既往の 評価
	発病率(%)	発病度	判定	発病率(%)	発病度	判定	
すずかおり	0.0	0.0	極強	0.0	0.0	極強	-
アヤヒカリ	-	-	-	0.0	0.0	極強	強
タチナガハ	-	-	-	1.0	0.4	強	中

備考) 1. 試験年次: 2001年。  
2. 生育中の発病度は各区中央の20株についてA: 全く認められないもの, B: 疑わしいが判然としないもの, C: 罹病の軽いもの, D: 萎縮症状が中程度のもの, E: 萎縮症状が甚だしいもの, F: 萎縮症状が甚だしく生育が抑制されたもの, で判定し, 発病度 =  $(C+2D+3E+4F)/4(A+B+C+D+E+F) \times 100$ とした。  
褐斑粒調査は各区中央の20株から無作為抽出した300粒の褐斑粒の発生程度をA: 全く認められない, B: 僅かに認められる, C: 一見してわかる程度, D: 臍の大きさ程度, E: それ以上, で判定し, 発病度 =  $(B+2C+3D+4E)/4(A+B+C+D+E) \times 100$ とした。  
無: 0~甚: 4とし, 下式で算出した。  
発病度 =  $\{ \sum (\text{発生程度} \times \text{該当粒数}) / (4 \times 300) \} \times 100$   
判定は発病度 0: 極強, 0~20: 強, 21~50: 中, 51~80: 弱, 81~: 極弱  
3. 既往の評価は「だいたひ品種特性分類審査基準」による。  
4. 発病度, 判定は表18と同じ

および減収程度(表22),並びに育成地ポット試験における寄生度指数(表23)等について,標準品種との比較から総合的に判断して,「すずかおり」のシストセンチュウ抵抗性は「弱」と判定される。

3) 紫斑病抵抗性

福島県農業試験場会津支場における紫斑病

(*Cercospora kikuchii* Matsumoto et Tomoyasu) 抵抗性検定試験において,標準播種と晩播および散水による発病促進処理における紫斑病発病率の指標品種「赤莢(長野)」、「タマヒカリ」、「スズユタカ」および「エンレイ」との比較から,「すずかおり」の紫斑病抵抗性は「やや強」と判定される(表24)。

表20 ダイズモザイクウイルスの病原系統別抵抗性検定試験成績(育成地)

品種名	ダイズモザイクウイルス病原系統(人工接種)				
	A	B	C	D	E
すずかおり	R	R	R	R	S
コスズ	R	R	S	S	S
鈴の音	R	R	S	S	S

備考) 1. 試験年次:2001年。  
2. 「コスズ」、「鈴の音」は既往の判定結果。  
3. 抵抗性判定:発病個体率0~10%:R, 11~20%:(R), 21~50%:(S), 51~100%:S。

表21 ダイズシストセンチュウ・レース3抵抗性検定試験成績(北海道立十勝農業試験場)

品種名	寄生度指数	判定
すずかおり	64	弱
キタムスメ(標準)	78	弱
トヨムスメ(標準)	9	強
Peking(標準)	3	強

備考) 1. 試験年次:2000年(すずかおりは刈系637号時の成績)。  
2. 階級値:0(無)~4(甚),寄生度指数は下式により算出。  
$$\text{寄生度指数} = \frac{\sum(\text{階級値} \times \text{該当個体数}) \times 100}{4 \times \text{個体数}}$$
  
3. 更別村でのレース3に対する抵抗性検定の結果。

表22 ダイズシストセンチュウ抵抗性検定試験成績(栃木県農業試験場黒磯分場)

品種名	黄化による判定		10株収量(g)		線虫圃/普通圃比(%)	普通圃ネマシラズ比(%)	同左判定	線虫圃/普通圃ネマシラズ比(%)	同左判定	総合判定
	線虫圃-普通圃の差	判定	普通圃	線虫圃						
すずかおり	0.5	中	47	44	93.6	26.3	弱	99.7	強	中
ネマシラズ(標準)	0.0	強	179	168	93.9	100.0	-	-	強	強

備考) 1. 試験年次:2000年(すずかおりは刈系637号時の成績)。  
2. 判定基準は以下のとおり。  
黄化による判定:センチュウ圃-普通圃の差0.8~1.0:弱, 0.5~0.7:中, 0.2~0.4:強。  
普通圃ネマシラズ比による判定:21~30:弱, 31~60:中, 61~80:強。  
線虫圃/普通圃ネマシラズ比による判定:31~59:弱, 60~80:中, 81~100:強。

表23 ダイズシストセンチュウ抵抗性検定試験成績(育成地)

品種名	調査個体数	寄生度指数	既往評価	判定
すずかおり	13	94	-	弱
ワセシロゲ(標準)	10	93	弱	弱
ネマシラズ(標準)	10	3	強	強
Peking(標準)	10	0	強	強

備考) 1. 試験年次:2003年。  
2. センチュウレース3優占汚染土に播種し,約7週間後に個体別に調査した。根の雌成虫の着生程度を,0(無)~4(甚)の階級値で表し,以下の式により寄生度指数を算出した。  
$$\text{寄生度指数} = \frac{\sum(\text{階級値} \times \text{該当個体数}) \times 100}{4 \times \text{個体数}}$$

表24 紫斑病抵抗性検定試験成績(福島県農業試験場会津支場)

品種名	発病粒率(%)			判定
	標準播	晩播	平均	
すずかおり	15.0	3.8	9.4	やや強
赤莢(長野)*	0.8	0.6	0.7	強
タマヒカリ*	7.3	5.6	6.5	やや強
スズユタカ*	11.4	8.8	10.1	中
エンレイ*	15.0	8.8	11.9	中

備考) 1. 試験年次:1999年(すずかおりは刈系637号時の成績)。  
2. \*は判定のための指標品種。  
3. 判定:平均の発病粒率で判定。発病粒率(%)  
0.7~6.4:強, 6.5~10.0:やや強, 10.1~25:中, 25~39.9:やや弱, 40.0~:弱

4) 大豆立枯性病害抵抗性

岩手県立農業試験場(現岩手県農業研究センター)における大豆立枯性病害抵抗性検定試験結果における発病株率と発病度および指標品種との比較から、「すずかおり」の立枯性病害抵抗性は“やや強”と判定される(表25)。

4. 機械化適性

コンバイン収穫の際に重要となる最下着莢節位高は、「すずかおり」は“中”の標準品種「スズユタカ」よりは低く、“低”と判定される(表26)。また、裂莢の難易は温風乾燥処理による裂莢率(小山ら1971)から“中”の標準品種「スズユタカ」と同程度の“中”と判定される(表27)。

以上より「すずかおり」は最下着莢節位高が低いことからコンバイン収穫時には刈高さに注意する必要があると判断される。

生産力と栽培特性

1. 育成地における成績

育成地において、普通畑標準播種、普通畑晩播および転換畑標準播種で生産力検定試験を実施した。

普通畑標準播では「すずかおり」は「コスズ」と

表25 ダイズ立枯性病害抵抗性検定試験成績(岩手県立農業試験場)

品種	発病株率 (%)	平均発病度	同一株内 Harosoy 対比	判定
すずかおり	99	1.70	0.612	やや強
ナンブシロメ*	100	1.94	0.775	弱
スズカリ*	99	1.69	0.632	やや強

備考) 1. 試験年次: 1999年(すずかおりは刈系637号時の成績)。  
 2. 1株に供試品種・系統とHarosoyを混植し、Harosoyが罹病した株だけを調査対象とした。  
 3. 発病度は、発病無し: 0, 地際部に褐変が認められる: 1, 褐変が地際部全体を取り巻いている: 2, 褐変が地際部を中心に長く伸びている: 3, 主根が腐朽: 4, 枯死: 5とする階級値を個体毎に与え、下式によって算出した。  

$$\text{発病度} = \{ \sum (\text{階級値} \times \text{該当株数}) / (\text{全調査株数} \times 5) \} \times 100$$
  
 4. 同一株内Harosoy対比は、同一株内のHarosoyの発病度に対する供試系統の発病度として算出した。  
 5. 同一株内Harosoy対比を重点に、平均発病度及び発病株率を勘案して指標品種(\*)を基準に判定した。  
 判定, 強: 同一株内Harosoy対比0.600未満  
 やや強: 0.600~0.635  
 中: 0.636~0.749  
 やや弱: 0.750~0.770  
 弱: 0.771以上

比べ、開花期は5日、成熟期は1日早かった。主茎長は「コスズ」より20cm短かく、主茎節数は約3節少なかった。分枝数は「コスズ」とほぼ同じであった。蔓化は見られず、倒伏程度は「コスズ」より少なかった。子実収量は「コスズ」より13%多収であった。百粒重は「コスズ」と同じであった。品

表26 最下着莢節位高調査成績(育成地)

品種名	最下着莢節位高(cm)				判定
	年次			平均	
	2001	2002	2003		
すずかおり	12.3	13.9	12.1	12.8	低
コスズ	16.0	19.1	18.2	17.8	中
鈴の音	12.7	18.2	19.8	16.9	中
スズユタカ	18.9	22.0	20.3	20.4	中*
タチユタカ	20.8	21.6	26.3	22.9	中

備考) 1. 判定の\*印は標準品種となっていることを示す。  
 2. 調査: 普通畑標準播における10株, 3反復。

表27 温風乾燥処理による裂莢性検定(育成地)

品種名	年次	裂莢率(%)	判定
		60℃-3hr	
すずかおり	2001	62.0	中
	2002	87.5	
	2003	93.3	
	平均	80.9	
スズユタカ	2001	36.0	中*
	2002	85.0	
	2003	76.5	
	平均	65.8	
タチユタカ	2001	6.0	難*
	2002	0.0	
	2003	0.0	
	平均	2.0	
コスズ	2001	93.0	中
	2002	95.0	
	2003	82.7	
	平均	90.2	
鈴の音	2001	56.0	中
	2002	67.5	
	2003	57.3	
	平均	60.3	

備考) 1. 判定の\*印は耐裂莢性の標準品種になっていることを示す。  
 2. 裂莢率は、成熟期の2週間後に所定の温度・時間処理後、裂莢数(50莢, 3反復)を調査した。



質は「コスズ」と同じ中の上であった(表28, 29)。

ムギ後ダイズ栽培を想定した普通畑晩播では、「すずかおり」は「コスズ」と比べ、開花期は4日早く、成熟期は同じであった。主茎長は「コスズ」より11cm短かった。主茎節数は「コスズ」より約

1節少なかった。分枝数は「コスズ」より少なかった。蔓化は見られず、倒伏程度は「コスズ」より小さかった。子実収量は「コスズ」より13%多収であった。百粒重は「コスズ」と同じであった。品質は「コスズ」と同程度であった(表30, 31)。

表28 普通畑標準播における生育、収穫物および品質調査成績

品種名	開花 期 (月日)	成熟 期 (月日)	主茎 長 (cm)	主茎 節 数 (節)	分枝 数 (本/株)	生育中の障害				全 重 (kg/a)	子 重 (kg/a)	対 標 準 比 (%)	百 粒 重 (g)	被害粒程度			品 質
						蔓 化	倒 伏	ウ イ ル ス	立 枯					紫 斑	褐 斑	裂 皮	
すずかおり	7.31	10.13	71	15.6	9.5	無	少	無	無	56.1	30.2	113	9.6	微	無	無	中上
コスズ(標準)	8.05	10.14	91	18.4	10.7	無	中	無	少	51.5	26.8	100	9.6	微	無	微	中上
鈴の音(比較)	7.27	10.01	73	16.1	7.1	無	微	無	無	41.6	22.6	72	11.7	少	無	微	上下
スズユタカ(比較)	8.04	10.19	86	17.5	5.5	無	少	微	無	62.0	30.9	115	25.7	微	無	無	中上

備考) 試験年次: 2001~2003年。2001年~2002年の品質は紫斑粒を除いて判定した。  
実施場所: 東北農業研究センター水田利用部(大仙市 刈和野)

表29 普通畑標準播の耕種概要

年 次	播 種 期 (月日)	施肥量(kg/a)						栽植密度			1 区 面 積 (m <sup>2</sup> )	区 制	前 作
		窒 素	燐 酸	加 里	溶 磷	石 灰	堆 肥	畦 幅 (cm)	株 間 (cm)	一 株 本 数 (本)			
2001	5.25	0.21	0.17	0.6	6	6.5	200	75	16	2	10.5	3	えん麦
2002	5.24	0.21	0.17	0.6	6	6.5	200	75	16	2	10.5	3	えん麦
2003	5.23	0.24	0.80	0.8	4	6.0	200	75	16	2	10.5	3	えん麦

表30 普通畑晩播における生育、収穫物および品質調査成績

品種名	開花 期 (月日)	成熟 期 (月日)	主茎 長 (cm)	主茎 節 数 (節)	分枝 数 (本/株)	生育中の障害				全 重 (kg/a)	子 重 (kg/a)	対 標 準 比 (%)	百 粒 重 (g)	被害粒程度			品 質
						蔓 化	倒 伏	ウ イ ル ス	立 枯					紫 斑	褐 斑	裂 皮	
すずかおり	8.10	10.18	59	13.6	6.1	無	少	無	微	46.2	25.4	113	9.6	微	無	無	中上
コスズ(標準)	8.14	10.18	70	14.3	7.0	少	中	無	微	43.3	22.5	100	9.6	微	微	無	中上
鈴の音(比較)	8.08	10.04	56	13.4	4.1	無	微	無	微	33.9	19.3	86	11.3	微	無	無	中上
スズユタカ(比較)	8.11	10.19	67	13.9	4.4	無	少	微	無	50.2	25.8	115	24.7	微	無	無	中上

備考) 試験年次: 2001~2003年。2001年~2002年の品質は紫斑粒を除いて判定した。  
実施場所: 東北農業研究センター水田利用部(大仙市 刈和野)

表31 普通畑晩播の耕種概要

年 次	播 種 期 (月日)	施肥量(kg/a)						栽植密度			1 区 面 積 (m <sup>2</sup> )	区 制	前 作
		窒 素	燐 酸	加 里	溶 磷	石 灰	堆 肥	畦 幅 (cm)	株 間 (cm)	一 株 本 数 (本)			
2001	6.22	0.21	0.17	0.6	6	6.5	200	75	12	2	7.9	3	えん麦
2002	6.19	0.21	0.17	0.6	6	6.5	200	75	12	2	7.9	3	えん麦
2003	6.19	0.24	0.80	0.8	4	6.0	200	75	12	2	7.9	3	えん麦

転換畑標準播では「すずかおり」は「コスズ」と比べ、開花期は5日、成熟期は4日早かった。主茎長は「コスズ」より19 cm短かった。主茎節数は「コスズ」より約2節少なかった。分枝数は「コスズ」より少なかった。蔓化は見られたが「コスズ」ほどではなく、倒伏程度は「鈴の音」と同程度で、「コスズ」より少なかった。子実収量は「コスズ」より3%多収であった。百粒重は「コスズ」とほぼ同じであった。品質は「コスズ」と同じ“中の上”であった(表32, 33)。

以上から、「すずかおり」は「コスズ」とほぼ同じ成熟期であり、倒伏抵抗性は強く普通畑で多収であり、百粒重、外観品質が同等であることが明らかとなった。

2. 採用県(山形県立農業試験場等)における成績

1) 山形県立農業試験場, 山形県立農業試験場庄内支場, 山形県立農業研究研修センター中山間地農業研究部における成績

「すずかおり」は2001～2003年の3か年にわたり山形県立農業試験場(山形市), 2002～2003年の2か年にわたり同庄内支場(藤島町), 2001～2002年の2か年にわたり山形県立農業研究研修センター

中山間地農業研究部(新庄市)において奨励品種決定調査に、「鈴の音」と共に供試された。

成熟期は「鈴の音」と比べ、山形県立農業試験場では10日、庄内支場では7日、中山間地では12日遅かった。いずれの試験場所においても「すずかおり」は「鈴の音」と比べて主茎長が短い、主茎節数はほぼ同じであった。倒伏程度は中山間地を除き「すずかおり」は「鈴の音」より軽度であった。

子実重は「鈴の音」対比で、山形県立農業試験場で11%多収、庄内支場で1%少収、中山間地で3%少収であった(表34, 35)。

2) 山形県内の現地試験成績

2003年に中山町, 米沢市の奨励品種決定調査現地試験に「鈴の音」と共に供された。山形県立農業試験場や各支場での成績と同様に、成熟期は「鈴の音」より遅く、主茎長は短かった。子実重はいずれも13%の多収であり、品質は同じかやや劣っていた(表36, 37)。

以上のように、山形県内の奨励品種決定調査の成績から、「すずかおり」は「鈴の音」よりも多収傾向にあり、品質は同等であることから、「すずかおり」の優位性が認められた。

表32 転換畑標準播における生育、収穫物および品質調査成績

品種名	開花 期 (月日)	成熟 期 (月日)	主茎 長 (cm)	主茎 節 数 (節)	分枝 数 (本/株)	生育中の障害				全 重 (kg/a)	子 実 重 (kg/a)	対 標 準 比 (%)	百 粒 重 (g)	被害粒程度			品 質
						蔓 化	倒 伏	ウ イ ル ス	立 枯					紫 斑	褐 斑	裂 皮	
すずかおり	7.31	10.15	67	16.1	9.6	微	微	無	無	56.9	31.5	103	10.0	無	無	無	中上
コスズ(標準)	8.05	10.19	86	17.1	11.8	少	甚	無	無	57.4	30.6	100	10.6	無	無	微	中上
鈴の音(比較)	7.27	10.02	71	15.8	7.2	無	微	無	無	51.2	29.1	95	12.8	微	無	無	中上
スズユタカ(比較)	8.04	10.21	86	17.4	6.6	無	多	無	微	67.0	33.0	108	25.3	無	無	無	中上

備考) 試験年次: 2001～2003年。2001年～2002年の品質は紫斑粒を除いて判定した。  
実施場所: 東北農業研究センター水田利用部(大仙市 四ツ屋)

表33 転換畑標準播の耕種概要

年 次	播 種 期 (月日)	施肥量(kg/a)						栽植密度			1 区 面 積 (m <sup>2</sup> )	区 制	前 作
		窒 素	燐 酸	加 里	溶 磷	石 灰	堆 肥	畦 幅 (cm)	株 間 (cm)	一 株 本 数 (本)			
2001	5.30	0.12	0.4	0.4	6	6	0	75	16	2	10.5	3	水 稻
2002	5.29	0.12	0.4	0.4	6	6	0	75	16	2	10.5	3	大 豆
2003	5.30	0.30	1.0	1.0	-	6	0	75	16	2	10.5	3	大 豆

表34 山形県立農業試験場等における試験成績

試験場所	品種名	試験条件	開花期 (月日)	成熟期 (月日)	主茎長 (cm)	主茎節数 (節)	分枝数 (本/株)	生育中の障害				全実重 (kg/a)	子実重 (kg/a)	対標準比 (%)	百粒重 (g)	被害粒程度			品質
								蔓化	倒伏	ウイルス	立枯					紫斑	褐斑	裂皮	
山形農試	すずかおり	標播	8.03	10.14	67	15.5	5.9	無	無	微	微	61.6	35.0	111	11.2	微	無	無	中上
	鈴の音	標植	8.02	10.04	69	15.5	5.6	無	少	少	無	53.8	31.5	100	13.0	微	無	無	上下
山形庄内	すずかおり	標播	8.01	10.10	59	16.5	5.6	無	微	無	無	57.7	33.3	99	12.1	無	無	微	2下
	鈴の音	標植	7.31	10.03	69	16.4	5.0	無	少	無	微	55.1	28.4	100	11.4	無	微	微	2下
山形中山間	すずかおり	標播	8.01	10.13	55	14.6	4.9	微	微	少	少	58.1	28.0	97	10.5	微	無	微	中中
	鈴の音	標植	7.30	10.01	63	15.9	5.2	無	無	微	少	53.9	29.0	100	13.4	微	微	無	中下

備考) 試験年次: 山形農試2001~2003年, 山形庄内2002, 2003年, 山形中山間2001, 2002年。  
山形庄内の品質は食糧事務所による格付け(1等上・中・下, 2等上・中・下, 3等上・中・下, 規格外)。

表35 山形県立農業試験場等の耕種概要

試験場所	試験条件	年次	施肥量(kg/a)					その他	播種期 (月日)	畦幅 (cm)	株間 (cm)	一株本数 (本)	区制	前作物	特記事項
			窒素	リン酸	加里	堆肥	石灰								
山形農試	標播標植	2001	0.25	0.75	1.00	200	12	熔燐4	6.05	65	25	2	2	そば	普通畑
	標播標植	2002	0.25	0.75	1.00	300	10		6.05	65	25	2	2	そば	普通畑
	標播標植	2003	0.25	0.75	1.00	300	10		6.05	65	25	2	2	そば	普通畑
山形庄内	標播標植	2002	0.25	0.75	1.00	200		苦土石灰10	6.04	65	25	2	2	大豆	転換畑2年目
	標播標植	2003	0.25	0.75	1.00	200		過リン酸石灰10	6.04	65	25	2	2	大豆	転換畑3年目
山形中山間	標播標植	2001	0.25	0.83	0.83	200	6	熔燐6	6.05	65	25	2	2	バレイショ	普通畑
	標播標植	2002	0.25	0.75	1.00	200	6	熔燐6	6.05	75	25	2	2	バレイショ	普通畑

表36 山形県内の現地調査における試験成績

試験場所	品種名	試験条件	開花期 (月日)	成熟期 (月日)	主茎長 (cm)	主茎節数 (節)	分枝数 (本/株)	生育中の障害				全実重 (kg/a)	子実重 (kg/a)	対標準比 (%)	百粒重 (g)	被害粒程度			品質
								蔓化	倒伏	ウイルス	立枯					紫斑	褐斑	裂皮	
中山町	すずかおり	標播	8.07	10.15	49	14.8	4.9	0	2	0	0	51.9	30.0	113	11.1	0	0	0	2中
	鈴の音	標植	8.08	10.07	65	15.2	5.2	0	2	0	0	45.7	26.5	100	13.4	0	0	0	1下
米沢市	すずかおり	標播	8.06	10.16	73	15.0	8.7	0	1	0	0	55.8	25.2	113	11.2	0	0	0	2上
	鈴の音	標植	7.30	10.09	86	17.7	6.8	0	3	0	0	56.5	22.4	100	13.1	2	1	0	2上

備考) 試験年次: 2003年。

表37 山形県内の現地試験の耕種概要

試験場所	試験条件	施肥量(kg/a)			播種期 (月日)	畦幅 (cm)	株間 (cm)	一株本数 (本)	区制	前作物
		窒素	リン酸	加里						
中山町	標播標植	0.20	0.60	0.80	6.12	65	20	2	2	水稻
米沢市	標播標植	0.56	0.56	0.56	6.06	65	25	2	2	水稻

備考) 試験年次: 2003年。

### 3. 奨励品種採用県以外における概評

奨励品種決定調査に2001年と2003年の2か年計5箇所を試験された。標準品種と比較して主茎長は短く、倒伏程度は小さい傾向にあったが、収量は場所によって異なった(表38, 39)。

#### 命名の由来

莢が「鈴」なりに稔って、生産者に豊作をもたらす、美味しさおよび「香り」に優れる納豆を消費者に提供して、本品種が広く普及することを願って、「すずかおり」と命名した。英字表記は「Suzukaori」、漢字表記は「鈴香」とする。

本品種は、ダイズの主要病害虫であるダイズモザイクウイルスに強く、既存の納豆用品種と比較して

多収であり、栽培農家にとって望ましい特性を有している。さらに、納豆加工適性が良好であるために、実需者にとってもメリットがある。そして、安全安心な国産ダイズを望む消費者にとっても本品種の普及により希望の納豆が入手可能になる。

#### まとめ

##### 1. 適地

「すずかおり」はダイズモザイクウイルスのA, B, CおよびD系統に対し抵抗性を有していること、成熟期が中生であること等から、東北中南部が栽培適地と判断される。

##### 2. 栽培上の留意点

「すずかおり」の最下着莢節位高は低いため、コ

表38 山形県以外における試験成績

試験場所	品種名	試験条件	開花期(月日)	成熟期(月日)	主茎長(cm)	主茎節数(節)	分枝数(本/株)	生育中の障害				全実重(kg/a)	子実重(kg/a)	対標準比(%)	被害粒程度			品質	評価	
								蔓倒伏	ウイルス枯	立枯	重立				紫斑	褐斑	裂皮			
秋田農試	すずかおり コスズ	標播	7.30	10.15	74	16.6	6.3	微	無	無	無	69.9	35.6	109	9.8	無	無	無	3等下	やや劣る
			8.04	10.12	94	18.2	6.2	多	微	無	無	62.8	32.7	100	10.0	無	無	無	3等下	
新潟農研	すずかおり コスズ	標播	7.16	10.10	22	11.9	5.4	無	無	無	28.0	15.2	83	9.1	微	無	微	中上	やや劣る	
			7.23	9.29	36	14.4	7.6	無	無	微	微	36.4	18.3	100	9.1	微	微	微	中上	
茨城農研	すずかおり 納豆小粒	晩播	7.26	10.14	34	12.0	6.8	無	無	無	57.5	33.1	121	11.3	少	無	微	中上	やや劣る	
			8.08	10.25	79	15.2	9.5	中	甚	無	無	58.8	27.4	100	10.8	微	無	微	中上	
栃木農試	すずかおり 納豆小粒	標播	8.03	10.18	72	14.0	3.1	少	多	微	無	-	26.1	91	9.4	微	微	無	上下	やや劣る
			8.10	10.31	80	14.9	4.5	中	多	微	無	-	28.6	100	10.8	微	甚	微	上下	
群馬農技	すずかおり 納豆小粒	標播	8.03	10.11	46	13.8	5.8	無	無	微	-	52.4	26.7	76	9.5	無	無	無	上中	やや劣る
			8.08	10.19	66	15.1	5.8	微	少	少	-	69.8	35.0	100	9.7	微	無	無	上中	

備考) 試験年次: 秋田農試2001年, 新潟農研2001年, 茨城農研2001年, 栃木農試2001年, 群馬農技2003年。  
秋田農試の品質は食糧事務所による格付け(1等上・下, 2等上, 3等上・下, 特定加工用, 等外)。

表39 山形県以外における耕種概要

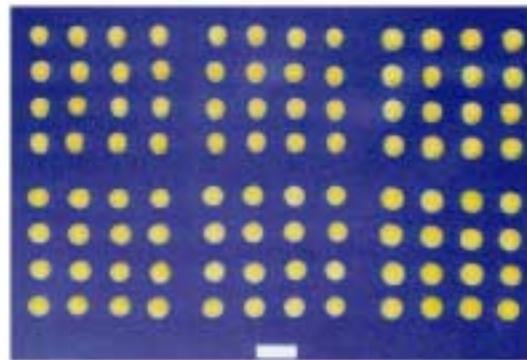
試験場所	試験条件	施肥量(kg/a)						播種期(月日)	畦幅(cm)	株間(cm)	一株本数(本)	区制	前作物	特記事項
		窒素	燐酸	加里	堆肥	石灰	その他							
秋田農試	標播	0.25	0.75	0.75	200	6	熔燐6	5.25	75	20	2	2	麦	普通畑
新潟農研	標播	0.16	0.60	0.80		10		5.18	75	15	1	2	ソバ	普通畑
茨城農研	晩播	0.30	1.00	1.00		10	熔燐10	6.13	60	20	1	2	水稻	転換畑1年目
栃木農試	標播	0.20	0.80	0.80	100	1	熔燐30	6.25	60	10	1	2	ビール麦	転換畑1年目
群馬農技	標播	基0.20 追0.50	0.60	基0.60 追0.50	100			6.18	70	12	1	2	水稻	転換畑1年目

備考) 試験年次: 秋田農試2001年, 新潟農研2001年, 茨城農研2001年, 栃木農試2001年, 群馬農技2003年。



### 引用文献

- 1) だいず種苗特性分類調査委員会. 1995. 種苗特性分類調査報告書 だいず. 日本特殊農作物種苗協会. 55p.
- 2) 小山隆光, 松本重男, 石川正示. 1971. 大豆の裂莢性に関する試験. 第2報 高温, 湿潤処理による裂莢性の品種間差異. 日作東北支部会報 13 : 39-40.
- 3) 村田吉平, 菊池彰夫, 酒井真次. 1991. 大豆裂皮性簡易検定法 (吸水裂皮法) について. 日作東北支部会報 34 : 57-58.
- 4) 長沢次男, 村上昭一, 酒井真次, 渡部巖. 1987. 大豆新品種「タチユタカ」および「コスズ」の育成. 農業技術 42 : 420-421
- 5) 田淵公清. 1998. 農業技術大系 追録 20:115
- 6) 御子柴義郎. 2001. 農業技術大系 追録 23 : 175-176
- 7) 中村茂樹, 湯本節三, 高橋浩司, 田淵公清, 足立大山, 菊池彰夫, 伊藤美環子, 番場宏治, 高橋信夫, 岡部昭典, 渡辺巖, 長沢次男, 村上昭一, 橋本鋼二, 酒井真次, 異議田和典. 1996. ダイズ新品種「鈴の音」の育成. 東北農試研報 91 : 13-23.



▲左：コスズ 中：すずかおり 右：鈴の音  
(バーは 10 mm)

◀左：コスズ 中：すずかおり 右：鈴の音

写真1 ダイズ「すずかおり」の草本と子実の形態

(2003年 東北農業研究センター 刈和野試験地産)  
備考：2003年5月25日播種，畦幅75cm，株間16cm，1株2本立



## 東北地域向きリポキシゲナーゼ欠失ダイズ新品種 「すずさやか」の育成

湯本 節三<sup>\*1)</sup>・島田 信二<sup>\*2)</sup>・高田 吉文<sup>\*1)</sup>・境 哲文<sup>\*3)</sup>  
 河野 雄飛<sup>\*1)</sup>・島田 尚典<sup>\*4)</sup>・高橋 浩司<sup>\*2)</sup>・故 足立大山<sup>\*5)</sup>  
 田渕 公清<sup>\*6)</sup>・菊池 彰夫<sup>\*7)</sup>・村田 吉平<sup>\*4)</sup>・酒井 真次<sup>\*8)</sup>  
 喜多村啓介<sup>\*9)</sup>・石本 政男<sup>\*10)</sup>・異議田和典<sup>\*11)</sup>・中澤 芳則<sup>\*12)</sup>  
 羽鹿 牧太<sup>\*2)</sup>

抄 録：「すずさやか」は、東北地域に適した子実中の全リポキシゲナーゼ (L-1, L-2, L-3) が欠失した品種の育成を目標に、ダイズモザイクウイルスとダイズシストセンチュウに抵抗性で安定多収・良質の「スズユタカ」を母に、全リポキシゲナーゼ欠失系統「九交 355F<sub>2</sub> ( $\gamma$ )-M<sub>1</sub>」を父として 1990 年に人工交配を行い、以後、選抜・固定を図り、育成した品種である。

成熟期は“中生の晩”で、主茎長は“中”である。倒伏抵抗性は“中”で、ダイズモザイクウイルスとダイズシストセンチュウ抵抗性はともに“強”である。子実は中粒で臍色は“黄”，種皮色は“黄白”，粗蛋白含有率は“中”である。これらの形態的、生態的特性はいずれも「スズユタカ」と同じで、収量および外観品質も「スズユタカ」と同等である。全リポキシゲナーゼが欠失し、豆乳や豆腐の加工適性は良好で、本品種より製造された豆乳や豆腐は青臭みが少ない。

2003 年に「すずさやか」(だいで農林 125 号)として命名登録され、2004 年に秋田県の奨励品種(認定品種)に採用された。栽培適地は東北中南部である。

キーワード：ダイズ, 新品種, リポキシゲナーゼ, 青臭み, 豆乳, 豆腐

**A New Tohoku-District Soybean Cultivar “Suzusayaka” with Three Lipoxygenase Isozyme Deletions** : Setsuzo YUMOTO<sup>\*1)</sup>, Shinji SHIMADA<sup>\*2)</sup>, Yoshitake TAKADA<sup>\*1)</sup>, Tetsufumi SAKAI<sup>\*3)</sup>, Yuhi KONO<sup>\*1)</sup>, Hisanori SHIMADA<sup>\*4)</sup>, Koji TAKAHASHI<sup>\*2)</sup>, Taizan ADACHI<sup>\*5)</sup>, Kohsei TABUCHI<sup>\*6)</sup>,

- 
- \* 1) 東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Kariwano, Daisen, Akita 019-2112, Japan)
  - \* 2) 現・作物研究所 (National Institute of Crop Science, Tsukuba, Ibaraki 305-8518, Japan)
  - \* 3) 現・九州沖縄農業研究センター (National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, Miyakonojo, Miyazaki 885-0091, Japan)
  - \* 4) 現・北海道立十勝農業試験場 (Hokkaido Prefectural Tokachi Agricultural Experiment Station, Memuro, Hokkaido 082-0071, Japan)
  - \* 5) 元・国際農林水産業研究センター (Deceased, Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba, Ibaraki 305-8686, Japan)
  - \* 6) 現・中央農業総合研究センター北陸研究センター (Hokuriku Research Center, National Agricultural Research Center, Joetsu, Niigata 943-0193, Japan)
  - \* 7) 現・近畿中国四国農業研究センター (National Agricultural Research Center for Western Region, Zentsuji, Kagawa 765-8508, Japan)
  - \* 8) 元・中央農業総合研究センター (Retired, National Agricultural Research Center, Tsukuba, Ibaraki 305-8666, Japan)
  - \* 9) 現・北海道大学大学院農学研究科 (Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, Hokkaido 060-8589, Japan)
  - \* 10) 現・北海道農業研究センター (National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, Sapporo, Hokkaido 062-8555, Japan)
  - \* 11) 元・国際農林水産業研究センター (Retired, Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba, Ibaraki 305-8686, Japan)
  - \* 12) 現・九州沖縄農業研究センター (National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, Nishigoshi, Kumamoto 861-1192, Japan)

2005 年 12 月 16 日受付, 2006 年 2 月 9 日受理



Akio KIKUCHI<sup>\*7)</sup>, Kippei MURATA<sup>\*4)</sup>, Shinji SAKAI<sup>\*8)</sup>, Keisuke KITAMURA<sup>\*9)</sup>, Masao ISHIMOTO<sup>\*10)</sup>, Kazunori IGITA<sup>\*11)</sup>, Yoshinori NAKAZAWA<sup>\*12)</sup> and Makita HAJIKA<sup>\*2)</sup>

**Abstract** : A new soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] cultivar “Suzusayaka” was developed by the National Agricultural Research Center for the Tohoku Region (NARCT). Released in 2003, its most noteworthy feature is the deletion of three lipoxygenase isozymes (L-1, L-2, L-3). “Suzusayaka” was registered as “Soybean Norin 125” by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan, and adopted as a recommended variety by Akita Prefecture.

“Suzusayaka” was derived from the cross “Suzuyutaka” x “Kyuko355F<sub>2</sub> (γ)-M<sub>4</sub>” made in 1990. “Suzuyutaka” is one of the leading cultivars in Tohoku district, and has resistance to soybean mosaic virus (SMV) and soybean cyst nematode (SCN). “Kyuko355F<sub>2</sub> (γ)-M<sub>4</sub>” is a breeding line with three lipoxygenase isozyme deletions.

“Suzusayaka” has a determinate growth habit, purple flowers, gray pubescence, brown pods and yellow seeds with a yellow hilum. Its averaged 13th October in maturing date, 78 cm in plant height, 272 kg/10a in seed yield, 24.5g in 100-seed weight, 39.4% in protein content, and 21.1% in oil content at Kariwano Branch (39° N Lat.), NARCT. “Suzusayaka” has resistance to SMV and SCN, and has three lipoxygenase isozymes deletions. The processing suitability of “Suzusayaka” for soy milk and tofu is high; products made from it have a less prominent “bean” flavor.

**Key Words** : Soybean, New cultivar, Lipoxygenase, Beany flavor, Soy milk, Tofu

## 緒 言

大豆には特有の青臭みがあり、この青臭みが大豆の食品利用範囲を狭める要因の一つになっている(須田 1999)。青臭みの主な成分は n-ヘキサナールであり、n-ヘキサナールは、酸化酵素であるリポキシゲナーゼの作用により、リノール酸等の不飽和脂肪酸が酸化されて生成する。リポキシゲナーゼは高温により失活することから、あらかじめ大豆を蒸煮する、あるいは煎る工程が入る大豆食品では、リポキシゲナーゼがあっても青臭みの発生が抑えられる。他方、豆乳や豆腐のように加工工程の初期に浸漬大豆を磨砕する食品では、磨砕時にリポキシゲナーゼが作用して青臭みが発生する。そのため、豆乳や豆腐および豆乳関連食品(プリンやアイスクリーム等のデザート類)の風味・食味を向上させるうえで青臭みは大きな障害であり、その低減が求められている。

リポキシゲナーゼには 3 種類のアイソザイム (L-1, L-2, L-3) があり、青臭みを遺伝的に抑制するには、これらアイソザイムを全て欠失(リポキシゲナーゼ全欠)させる必要がある。遺伝資源を探索した結果、個々のアイソザイムが欠失した大豆が見出され、また、それぞれ単一の劣性遺伝子によって支配されることが明らかとなり(Davies and Nielsen 1986, Hildebrand and Hymowitz 1982, Kitamura *et al.* 1983, Kitamura *et al.* 1985)、それらが戻し交雑により代表的実用品種「スズユタカ」(橋本ら

1984) に順次導入されて、2 種類のアイソザイムを欠失した L-1 欠・L-3 欠や L-2 欠・L-3 欠の系統が育成された。しかし、L-1 欠・L-2 欠の 2 重欠失は、L-1 有と L-2 欠、ないし L-1 欠と L-2 有の組合せで強連鎖していたため(Hajika *et al.*1992)、組み換え個体を得ることが難しく、L-1 欠・L-3 欠と L-2 欠・L-3 欠の交雑後代に放射線を照射することで、ようやく、3 種類のリポキシゲナーゼを全て欠失した系統の作出に成功した(羽鹿ら 2002)。その結果、これまでに、リポキシゲナーゼ全欠品種として「いちひめ」(羽鹿ら 2002)と「エルスター」(高橋ら 2003)が育成され、前者は栃木県で、後者は佐賀県、大分県、愛知県で栽培されている。

他方、東北地域においても、転作の本作化に伴って国産大豆が急増するなか、生産現場から普通品種と差別化できる特色ある品種の要望が強まり、東北地域向きのリポキシゲナーゼ全欠品種の育成が求められていた。今回育成された「すずさやか」は、東北中南部を適地とするリポキシゲナーゼ全欠品種であり、2003年に農林水産省の新品種として命名登録(だいで農林 125号)され、2004年に秋田県の奨励品種(認定品種)に採用された。そこで本品種の来歴、育成経過、特性等について報告し、普及及び今後の品種育成の参考に供する。

「すずさやか」の育成に当たり、秋田県農業試験場の田口光雄氏、佐藤健介氏、井上一博氏、佐藤泉氏、佐々木和則氏、佐藤雄幸氏の諸氏には、奨励品

種決定調査をはじめ各種試験の実施を通じて、その特性把握と栽培法の改善にご尽力いただいた。また、系統適応性検定試験や特性検定試験では公立農業試験研究機関の担当者の方々に、加工適性試験では実需者の方々に、それぞれ多大なご協力をいただいた。さらに育成地職員の大島清悦、鎌田精孝、佐藤英次、加藤昭、藤井修、佐藤光晴、高橋明浩、佐藤康孝、高橋武志の各氏には育種業務の遂行にご尽力いただいた。ここに記して各位に深く感謝する。

来歴及び育成経過

1988年に九州農業試験場作物第二部（現、九州沖縄農業研究センター作物機能開発部）において全リポキシゲナーゼ（L-1, L-2, L-3）を欠失した品種の育成を目標として、L-1とL-3を欠失した「関系2号」を母、L-2とL-3を欠失した「関系1号」

（後の「ゆめゆたか」（喜多村ら 1992））を父とする人工交配を行い、1989年にF<sub>2</sub>(M<sub>1</sub>)種子にγ線照射を行った。その後、M<sub>3</sub>種子より全リポキシゲナーゼを欠失した1粒を選抜し、個体養成を行って次代種子（九交355F<sub>2</sub>(γ)-M<sub>4</sub>）を得た。

1990年に東北地域に適したリポキシゲナーゼ全欠品種の育成を目標に、ダイズモザイクウイルス抵抗性、ダイズシストセンチュウ抵抗性で安定多収・良質の「スズユタカ」を母に、上記のリポキシゲナーゼ全欠系統「九交355F<sub>2</sub>(γ)-M<sub>4</sub>」を父として、東北農業試験場作物開発部成分育種法研究室（刈和野試験地）（現、東北農業研究センター水田利用部大豆育種研究室（刈和野試験地））の依頼により農業研究センター作物第一部豆類育種研究室（現、作物研究所畑作物研究部豆類育種研究室）において人工交配（刈交0276）を行った（表1、図1）。

表1 育成経過

年次		1988		1989		1990		1991	1992	1993		
世代		交配	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub> (M <sub>1</sub> )	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	交配	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub> *	F <sub>3</sub> *	
供試	系統群数	102花					1				16	
	系統数		71	3670	3500	1	18		5	1033	546	
	個体数											
選抜	系統数		71			1	5		5	16	2	
	個体数					1					2	
	粒数	71	9376	7500	1	30		5		1064	12	
備考		九交355 関系2号 x 関系1号		F <sub>2</sub> 種子に γ線15KR 照射。	ビニール ハウスで 世代促進 ↓ SDS-PAGE で選抜 (半粒法)	温室		刈交0276 スズユタ カ x 九交355 F <sub>2</sub> (γ)M <sub>4</sub>		集団採種 個体選抜	リポキシ ゲナーゼ 全欠個体 選抜	リポキシ ゲナーゼ 全欠個体 選抜
実施場所		九州農試						農研センター	東北農試			

年次		1994		1995		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
世代		F <sub>4</sub> *		F <sub>5</sub> *		F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>	F <sub>10</sub>	F <sub>11</sub>	F <sub>12</sub>
供試	系統群数			2	1	1	1	1	1	1	1	1
	系統数	12	2	10	5	5	5	5	5	7	7	7
	個体数	×20	×20	×25	×25	×25	×25	×25	×25	×25	×25	×25
選抜	系統数	2	1	1		1	1	1	1	1	1	1
	個体数	10	5	5		5	5	5	7	7	7	7
	粒数											
備考						刈系581 号	東北135 号					
実施場所		東北農試									東北農研	

注) 1. 父親のリポキシゲナーゼ全欠系統・九交355F<sub>2</sub>(γ)-M<sub>4</sub>の育成から記載した。  
 2. \*1992年のF<sub>2</sub>では、集団から1064粒採種の他に16個体を選抜し、1993年のF<sub>3</sub>ではそれぞれ別に播種し、選抜した。「すずさやか」はF<sub>2</sub>で集団採種した材料に由来する。

F<sub>1</sub>以降は東北農業試験場(現,東北農業研究センター)刈和野試験地で育成を進め, F<sub>2</sub>で集団採種とともに個体選抜を行い, F<sub>3</sub>でリポキシゲナーゼの有無を調査して集団より12個体(後の「すずさやか」を含む), 系統より2個体, それぞれリポキシゲナーゼ全欠個体を選抜した。これら個体から系統を養成し, F<sub>4</sub>以降は系統育種法で選抜・固定を図った。1996年からは「刈系581号」として生産力検定予備試験, 系統適応性検定試験および特性検定試験等に供試し, 成績が優秀であったことから, 1998年からは「東北135号」の地方番号を付して奨励品種決定調査等に供試した。2002年に主要な形質について系統間及び個体間の変異を調査し, 実用的に支障のない程度に固定しているものと認められた(表2)。2003年に「すずさやか」(だいち農林125号)として命名登録された。

特性の概要

1. 形態的並びに生態的特徴

「すずさやか」の形態的並びに生態的特性を, 東

北地域の主力品種「スズユタカ」および品種採用県の秋田県で栽培されている「タチユタカ」とともに, 表3と表4に一覧として示した。

胚軸色および花色は“紫”, 小葉の形は“円葉”, 毛茸色は“白”である。主茎長および主茎節数は“中”で, 分枝数は“やや少”である。伸育型は“有限”で, 熟莢色は“暗褐”である。粒の大小は“中”に属し, 粒形は“扁球”で, 子葉色は“黄”, 種皮色は“黄白”, 臍色は“黄”, その光沢は“弱”である。開花期および成熟期はともに“中の晩”で, 生態型は“中間型”である。

表3と表4に示した形態的, 生態的特性を「スズユタカ」と比較すると, 分枝数を除き同じであり, 「すずさやか」の形態的並びに生態的特徴は母親の「スズユタカ」に類似している。

2. 品質と加工適性

1) 粒大, 裂皮性および子実成分

「すずさやか」の粒度分布は, 中粒銘柄である「スズユタカ」や「タチユタカ」よりも更に中粒区分(篩い目の大きさ7.3mm~7.8mm)の比率が高く,

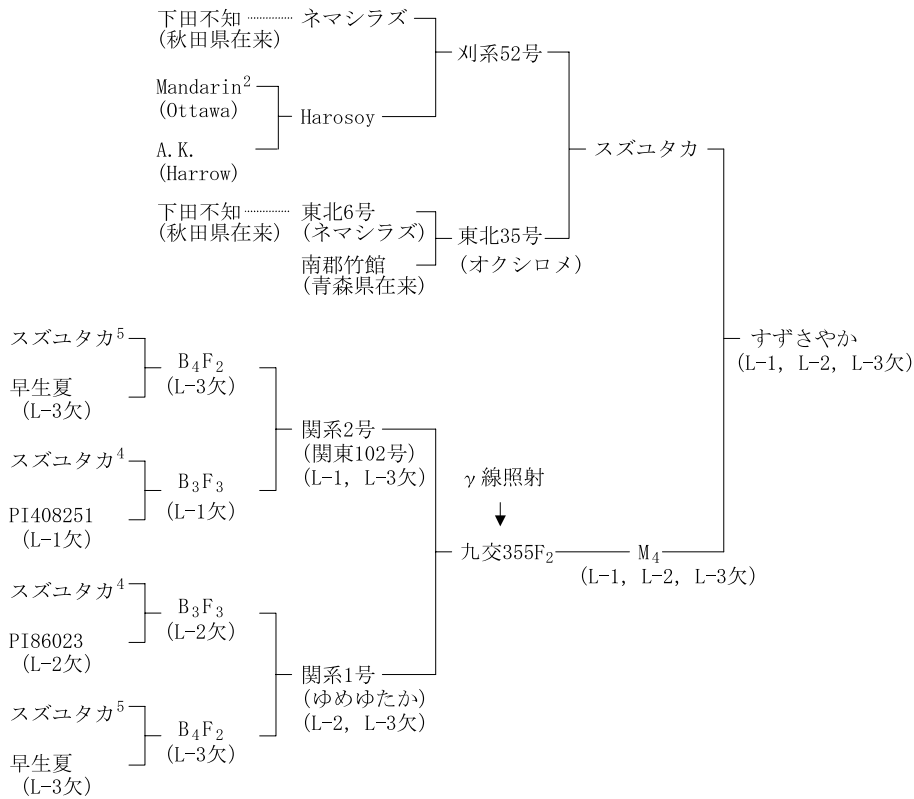


図1 「すずさやか」の系譜

注) L-1, L-2, L-3はリポキシゲナーゼの三つのアイソザイムを示す。

中粒に分類される（表5）。

「すずさやか」の裂皮の難易は、吸水・乾燥処理（村田ら 1991）による裂皮検定試験では「スズユタカ」の“中”に対し“難”と判定されたが（表6）、育成地の生産力検定試験（表20）や秋田県における奨励品種決定調査（表21）では裂皮粒発生程度

が「スズユタカ」よりもやや高いことから、総合的に判断して「スズユタカ」と同じ“中”に分類される。

「すずさやか」の粗蛋白含有率は普通畑で39.4%、転換畑で42.0%、粗脂肪含有率は普通畑で21.1%、転換畑で20.3%であった（表7）。これらは、“中”の標準品種「スズユタカ」と同等であり、粗蛋白含

表2 固定度調査成績（育成地）

品 種 名	変異係数(%)							
	主茎長		主茎節数		分枝数		百粒重	
	系統間	個体間	系統間	個体間	系統間	個体間	系統間	個体間
すずさやか	2.5	3.3	1.8	3.1	9.4	27.1	1.8	7.8
スズユタカ	4.7	3.6	1.2	4.7	8.0	27.9	1.0	6.6

注) 1. 試験年次は2002年。栽植様式は畦幅75cm, 株間12cm, 1株1本立。  
2. 東北135号 (F<sub>12</sub>) の7系統における系統間および系統内個体間の変異係数。

表3 形態的特性

品 種 名	胚軸の色	小葉の形	花の色	毛茸			主茎長	主茎節数	分枝数	伸育型	熟莢色	粒			種子色	種皮色	臍色
				多	直	白						大	粒形	光沢			
すずさやか	紫	円葉	紫	中	直	白	中	中	やや少	有限	暗褐	中	扁球	弱	黄	黄白	黄
スズユタカ	紫*	円葉*	紫*	中*	直*	白*	中*	中*	中*	有限*	暗褐*	中*	扁球*	弱*	黄*	黄白*	黄*
タチユタカ	紫	円葉	紫	中	直	白	中	中	少	有限	暗褐	中	扁球	弱	黄	黄白	黄

注) 1. だいたひ品種特性分類審査基準（だいたひ種苗特性分類調査委員会 1995）による。原則として育成地での調査に基づいて分類。  
2. \*印は当該形質について標準品種になっていることを示す。

表4 生態的特性

品 種 名	開花期	成熟期	生態型	裂莢の難易	最節下着莢高	倒伏抵抗性	病虫害抵抗性						
							モザイクウイルス					ウ圍イ場抵抗性病性	シンステュセウ
							A	B	C	D	E		
すずさやか	中の晩	中の晩	中間型	中	中	中	強	強	強	強	弱	強	強
スズユタカ	中の晩*	中の晩*	中間型*	中*	中*	中*	強*	強*	強*	強*	弱	強*	強*
タチユタカ	中の早	中の晩	中間型	難*	やや高	強	強	強	強	強	弱	強	弱

注) 1. だいたひ品種特性分類審査基準（だいたひ種苗特性分類調査委員会 1995）による。原則として育成地での調査に基づいて分類。  
2. \*印は当該形質について標準品種になっていることを示す。

表5 篩い目の大きさ別の粒度分布調査成績（育成地）

品 種 名	6.1mm	6.1mm～	6.7mm～	7.3mm～	7.9mm～	8.5mm	百粒重 (g)
	未満 (%)	6.6mm (%)	7.2mm (%)	7.8mm (%)	8.4mm (%)	以上 (%)	
すずさやか	0.0	0.3	33.3	60.8	5.6	0.0	24.7
スズユタカ	0.0	4.7	52.0	43.3	0.0	0.0	24.3
タチユタカ	0.0	6.6	51.8	41.3	0.3	0.0	24.8

注) 試験年次は2001年。

有率および粗脂肪含有率はそれぞれ“中”に分類される。

子実中のリポキシゲナーゼについて、「スズユタカ」は三つのアイソザイム(L-1, L-2, L-3)を有しているが、「すずさやか」は全て欠失している(写真2)。

## 2) 豆乳および豆腐の加工適性

### (1) 豆乳の加工適性

東北のT社で行った豆乳の試作試験では、豆乳の収量や回収率、また豆乳中の固形分や蛋白質の濃度、回収率はそれぞれ高く、豆乳製造上の問題はなかった(表8)。「すずさやか」の利用が予定されている

秋田県内のH農協において豆乳を製造し、官能評価を行った。その結果、「リュウホウ」に比較して、甘みはやや少ないが、青臭みが弱く、総合評価でも優る傾向にあった(表9)。

### (2) 豆腐の加工適性

育成地における豆腐加工適性試験では、豆腐の破断強度は「スズユタカ」よりも高く、色調は同等であった(表10)。

関東A社による豆腐加工適性試験では、栽培が予定されている秋田県上小阿仁村産の「すずさやか」と「リュウホウ」および福岡県産の「フクユタカ」(大豆の品種育成における豆腐加工適性の全国標準

表6 吸水乾燥法による裂皮検定試験成績(育成地)

品 種 名	裂皮粒率 (%)	判定
すずさやか	39	難
スズユタカ	55	中
エンレイ	11	難
オクシロメ	77	中

注) 1. 試験年次は2001年。  
2. 判定の基準 難: 45%以下, 中: 46~84%, 易: 85~100%。

表8 豆乳加工適性試験の成績(東北T社)

品 種 名	豆乳		固形分		蛋白質	
	収量 (g)	回収率 (%)	濃度 (%)	回収率 (%)	濃度 (%)	回収率 (%)
すずさやか	407.2	62.7	10.6	47.9	4.1	44.8
スズユタカ	416.0	64.4	10.7	49.9	4.0	46.5

注) 1. 原料は2000年育成地産を使用。  
2. 豆乳の製造、分析はT社の定法によった。

表7 粗蛋白および粗脂肪含有率(育成地)

品 種 名	粗蛋白含有率(%)		粗脂肪含有率(%)	
	普通畑	転換畑	普通畑	転換畑
すずさやか	39.4	42.0	21.1	20.3
スズユタカ(標準)	40.1	42.8	21.4	20.1
エンレイ(標準)	44.4	45.6	20.4	18.5

注) 1. 試験年次は1998~2002年のうち2000年を除く4カ年。2000年は干ばつで粗蛋白含有率が著しく低下したため除外した。  
2. 分析は近赤外分光分析法による無水分中の含有率。窒素蛋白質換算係数は6.25。  
3. 「スズユタカ」は粗蛋白および粗脂肪含有率が中、「エンレイ」は粗蛋白含有率が高の標準品種。

表9 豆乳の官能評価成績(秋田県H農協)

項 目	青臭み	甘み	こく	総合
評点の平均	0.48	-0.22	-0.04	0.43

注) 1. 原料は秋田県上小阿仁村産、試験は2002年に実施。  
2. H農協にて加工調整した豆乳を使用。  
パネラー24名により、「リュウホウ」を基準に評価。  
青臭み: 強い(-2)~同じ(0)~弱い(2)  
甘み: 弱い(-2)~同じ(0)~強い(2)  
こく: 薄い(-2)~同じ(0)~濃い(2)  
総合: 悪い(-2)~同じ(0)~良い(2)

表10 豆腐加工適性試験成績(育成地)

品 種 名	吸水率 (倍)	豆乳		破断強度 (g/cm <sup>2</sup> )	豆腐		
		抽出率 (%)	固形分 (%)		色調		
					L*	a*	b*
すずさやか	2.27	77.2	11.6	98.9	84.93	1.77	12.72
スズユタカ	2.30	78.0	11.7	81.0	85.48	1.80	12.65
リュウホウ	2.27	78.4	11.8	117.3	85.89	2.04	13.31

注) 1. 原料は2002年育成地産。  
2. 豆腐の製造および分析は育成地の定法によった。  
3. 色調 L\*: 明100⇔0暗 a\*: 赤+⇔-緑 b\*: 黄+⇔-青

表 11 豆腐加工適性試験（関東 A 社）

品 種 名	豆乳						豆腐			
	抽出率 (%)	固形分 (%)	粗蛋白質 (%)	色調			粘度 (mPa・s)	破断強度(g/cm <sup>2</sup> )		
				L	a	b		GDL	硫酸Ca	塩化Mg
すずさやか	78.3	9.87	4.58	77.4	-1.7	13.1	12.0	63	90	81
リュウホウ	78.8	9.83	4.53	78.6	-1.7	12.3	14.7	66	62	53
フクユタカ (標準)	80.1	9.82	4.72	79.4	-1.5	11.7	15.8	86	100	80

注) 1. 原料は「すずさやか」と「リュウホウ」が秋田県上小阿仁村産, 「フクユタカ」が福岡産, 試験は2002年に実施。  
 2. 豆腐の製造および分析はA社の定法による。  
 3. 色調 L: 100明⇔暗0, a: +赤⇔緑-, b: +黄⇔青-  
 4. 凝固剤 GDL: グルコノデルタラクトン, 硫酸Ca: 硫酸カルシウム, 塩化Mg: 塩化マグネシウム

表 12 豆腐加工適性試験（東北 T 社）

品 種 名	試験 年次	豆乳		豆腐			
		固形分 (%)	蛋白質 (%)	破断強度 (g/cm <sup>2</sup> )	色調		
					L	a	b
すずさやか	2000	11.0	4.3	108.8	90.3	-3.0	14.7
スズユタカ	2000	10.8	4.4	75.8	90.8	-3.0	12.4
フクユタカ (標準)	2000	11.0	4.8	100.7	92.3	-3.7	14.4
すずさやか	2001	10.3	4.2	68.3	90.2	-3.3	14.3
スズユタカ	2001	10.3	4.1	60.8	90.7	-3.4	14.2

注) 1. 原料は「すずさやか」と「スズユタカ」は育成地産, 「フクユタカ」は福岡県産。  
 2. 豆腐の製造および分析はT社の定法によった。  
 3. 色調 L: 100明⇔暗0, a: +赤⇔緑-, b: +黄⇔青-

品) を用いた。豆腐の破断強度は, 「フクユタカ」に比較して, 凝固剤がGDLと硫酸カルシウムの場合には低かったが, 塩化マグネシウムの場合には同等であった(表11)。また, 「リュウホウ」と比較すると, 凝固剤に硫酸カルシウムと塩化マグネシウムを使用したときは豆腐破断強度が高かった。なお, 「リュウホウ」と比較して「すずさやか」は味に特徴があり, 豆腐のバラエティーを広げる可能性がある」との見解が示された。これらより, 関東A社での「すずさやか」の評価は「フクユタカ」より劣るが, 「リュウホウ」より優ると言える。

東北T社の豆腐加工適性試験では, 豆腐の破断強度は「フクユタカ」よりもやや高く, また, 兩年とも「スズユタカ」よりは高かった(表12)。

上小阿仁村産の「すずさやか」をH農協で調整加工した豆乳から豆腐を製造し, 官能評価を行った。豆乳と同様, 「リュウホウ」に比較して青臭みが弱く, 総合評価も優れる傾向にあった(表13)。

(3) 一般消費者を対象にしたアンケート調査「すずさやか」の豆乳と豆腐について, 2004年

表 13 豆腐の官能評価成績（秋田県 H 農協）

項 目	外観	青臭み	味	硬さ	総合
評点の平均	0.58	0.42	0.21	-0.04	0.46

注) 1. 原料は上小阿仁村産, 試験は2002年に実施。  
 2. H農協にて加工調整した豆乳ににがりを加えて製造。パネラー24名により, 「リュウホウ」を基準に評価。  
 外観: 悪い (-2) ~ 同じ (0) ~ 良い (2)  
 青臭み: 強い (-2) ~ 同じ (0) ~ 弱い (2)  
 味: 悪い (-2) ~ 同じ (0) ~ 良い (2)  
 硬さ: 柔い (-2) ~ 同じ (0) ~ 硬い (2)  
 総合: 悪い (-2) ~ 同じ (0) ~ 良い (2)

10月に開催された東北農業研究センター水田利用部一般公開の来場者を対象にアンケート調査を実施した。その結果, 「リュウホウ」に比較して, およそ7割の人が豆乳は青臭みがなく, 豆腐は美味しいと回答した(表14)。また, 「すずさやか」の豆乳が市販されたとき, 9割の人が購入したいと回答した。

以上の結果より, 「すずさやか」は, 豆乳や豆腐等加工品原料として優れた品質を有している。

表14 一般消費者を対象にした「すずさやか」の豆乳、豆腐のアンケート調査成績(育成地)

設問	豆乳の青臭みを「リュウホウ」に比較して		
	ない	同じ	ある
回答数	466	114	73
割合(%)	71.4	17.4	11.2
設問	豆腐の美味しさを「リュウホウ」に比較して		
	美味しい	同じ	まずい
回答数	494	118	50
割合(%)	74.6	17.8	7.6
設問	「すずさやか」の豆乳が市販されたとき購入したいか		
	はい	いいえ	
回答数	529	50	
割合(%)	91.4	8.6	

注) 1. 2004年10月の東北農業研究センター水田利用部一般公開の来場者(小学生を除く)を対象に実施。  
2. 豆乳および豆腐は岩手県のメーカーで製造。原料の「すずさやか」は育成地産、「リュウホウ」は流通品。

## 3. 病虫害抵抗性

## 1) ダイズモザイクウイルス病抵抗性

山形県立農業試験場(現、山形県農業総合研究センター)における抵抗性検定試験では生育中の発病に関して“極強”, 子実の褐斑粒の発生に関して“強”と判定された(表15)。育成地におけるダイズモザイクウイルスの病原系統別接種試験でも, A, B, CおよびD系統に対する抵抗性が確認された。これらよりダイズウイルス病圃場抵抗性は“強”と判定される。

## 2) ダイズシストセンチュウ抵抗性

北海道立十勝農業試験場におけるダイズシストセンチュウ抵抗性検定試験では, シスト寄生指数が“強”の標準品種「トヨムスメ」と同等であり, 「すずさやか」の抵抗性は“強”と判定される(表16)。

## 3) 紫斑病抵抗性

福島県農業試験場会津支場における紫斑病抵抗性検定試験では, 標準栽培の自然感染区および散水による発病促進処理区の発病粒率は2.9%と7.4%であり, 「すずさやか」の紫斑病抵抗性は“やや強”と判定される(表17)。

表15 ダイズモザイク病抵抗性検定試験成績(山形県立農業試験場)

品 種 名	生育中における発病			褐 斑 粒			既往の 評 価
	発病率(%)	発病度	判定	褐斑粒率(%)	発病度	判定	
すずさやか	0.0	0.0	極強	0.3	0.2	強	—
ネマシラズ	15.0	3.8	強	40.0	33.8	中	中
デウムスメ	0.0	0.0	極強	0.0	0.0	極強	極強

注) 1. 試験年次は1996年(刈系581号の成績)。  
2. 発病度を次式により算出し, 判定は発病度の以下の区分による。  
発病度 =  $\{ \Sigma(\text{病徴程度} \times \text{該当個体数, 粒数}) / (4 \times \text{調査個体数, 粒数}) \} \times 100$   
病徴程度 無:0 少:1 中:2 多:3 甚:4  
判定 0:極強, 0.1~20:強, 20.1~50:中, 50.1~80:弱, 80.1~:極弱  
調査数は生育中の発病が20株, 褐斑粒は300粒。  
3. 既往の評価は「だいで品種特性分類審査基準」による。

表16 ダイズシストセンチュウ抵抗性検定試験成績(北海道立十勝農業試験場)

品 種 名	シスト寄生指数(レース3)		判定
	8月1日	8月8日	
すずさやか	0	0	強
キタムスメ(標準)	38	36	弱
トヨムスメ(標準)	0	3	強

注) 1. 試験年次は1998年(刈系581号の成績)。  
2. シスト寄生指数 =  $\frac{\Sigma(\text{階級値} \times \text{該当個体数})}{4 \times \text{個体数}} \times 100$   
階級値 0:無, 1:少, 2:中, 3:多, 4:甚  
調査個体数は10個体の2反復。  
3. 「キタムスメ」は弱, 「トヨムスメ」は強の標準品種。

表17 紫斑病抵抗性検定試験成績(福島県農業試験場会津支場)

品 種 名	発病粒率(%)		発病 程度	判 定
	自然感染区	発病促進区		
すずさやか	2.9	7.4	少	やや強
ズブユタカ	4.6	5.8	少	やや強
エンレイ	8.1	9.7	少	やや強

注) 1. 試験年次は1996年(刈系581号の成績)。  
2. 発病促進処理区は, 晩播で罹病種子の散布と散水処理を実施。  
3. 判定は2処理のうち高い方の発病粒率について以下の区分で判定。  
0:極強, 0.1~5:強, 5.1~15:やや強,  
15.1~30:中, 30.1~50:やや弱, 50.1~:弱

4) 立枯性病害抵抗性

岩手県立農業試験場(現,岩手県農業研究センター)における立枯性病害抵抗性検定試験では,発病度の同一株内「Harosoy」比(株内に共通に混植した感受性品種「Harosoy」との発病度対比)が「ナンブシロメ」より小さく「スズカリ」並で,「すずさやか」の立枯性病害抵抗性は“やや強”と判定される(表18)。

以上の結果より,「すずさやか」は主要な病虫害抵抗性に優れると言える。

4. 機械化適性

「すずさやか」の最下着莢節位高は「タチナガハ」より低く,「スズユタカ」並であり,“中”に分類される(表19)。裂莢の難易について,熱風乾燥処理(土屋・砂田1978)による裂莢検定試験の結果,「すずさやか」の裂莢率は「スズユタカ」並で“中”と判定される(表19)。倒伏抵抗性について,育成地の生産力検定試験(表20)における倒伏程度は「スズユタカ」並であり,“中”と判定される。

以上の結果より,「すずさやか」の機械化適性は「スズユタカ」並であるが,やや倒伏しやすいことから,適期培土による倒伏防止が重要である。

生産力と栽培特性

1. 育成地における成績

普通畑では,開花期が8月2日,成熟期が10月13日で,「スズユタカ」並であった。主茎長は78cm,主茎節数は17.0,分枝数は4.6で,「スズユタカ」に比較して,主茎長や主茎節数は同等,分枝数はやや少なかった。子実重は27.2kg/a,百粒重は24.5gで,ともに「スズユタカ」並,外観品質は「スズユタカ」と同じ“中上”であった(表20)。

転換畑では,開花期が8月4日,成熟期が10月20日で,「スズユタカ」並であった。主茎長は84cm,主茎節数は17.1,分枝数は7.4で,「スズユタカ」に比較して,主茎長や主茎節数は同等,分枝数はやや少なかった。子実重は38.1kg/a,百粒重は25.2g

表18 立枯性病害抵抗性検定試験成績(岩手県立農業試験場)

品 種 名	発病株率 (%)	平均発病度	同一株内 Harosoy比	判定
すずさやか	90	1.8	0.61	やや強
ナンブシロメ	100	3.2	1.12	弱
スズカリ	96	2.3	0.71	やや強

- 注) 1. 試験年次は1997年(刈系581号の成績)。  
 2. 1株に供試品種と感受性品種Harosoyを混植し,Harosoyの罹病が確認された株を調査。  
 3. 同一株内Harosoy比:株内の供試品種の発病度のHarosoyの発病度に対する比  
 4. 発病度は次式により算出。  

$$\text{発病度} = \left\{ \frac{\sum (\text{階級値} \times \text{該当株数})}{(\text{全調査株数} \times 5)} \right\} \times 100$$
 階級値は病徴について無(0)～甚(5)  
 5. 同一株内「Harosoy」比を重点に,平均発病度および発病株率を勘案して判定した。

表19 最下着莢節位高と裂莢性検定試験成績(育成地)

品 種 名	最下着莢節位高		裂莢性	
	高さ(cm)	判定	裂莢率(%)	判定
すずさやか	19.9	中	72.0	中
スズユタカ	20.5	中*	72.0	中*
タチユタカ	22.1	中	0.5	難*
タチナガハ	36.4	高	77.3	易

- 注) 1. 試験年次は1999年と2000年で,2カ年の平均値である。  
 2. 裂莢率は60℃×3時間の熱風乾燥処理による。  
 3. 判定の\*印は標準品種となっていることを示す。

表20 育成地における生産力検定試験の成績

試 験 条 件	品 種 名	開 花 期 (月日)	成 熟 期 (月日)	主 茎 長 (cm)	主 茎 節 数 (節)	分 枝 数 (本/株)	生育中の障害			全 重 (kg/a)	子 実 重 (kg/a)	対 標 準 比 (%)	百 粒 重 (g)	障害粒の程度		品 質
							蔓 化	倒 伏	立 枯					紫 斑	裂 皮	
普通畑	すずさやか	8.02	10.13	78	17.0	4.6	無	中	無	54.0	27.2	99	24.5	少	少	中上
	スズユタカ(標準)	8.01	10.14	78	16.9	5.0	無	少	微	54.8	27.4	100	24.9	少	微	中上
	タチユタカ(比較)	7.29	10.11	64	16.8	2.8	無	無	無	46.6	23.9	87	25.8	多	無	中下
転換畑	すずさやか	8.04	10.20	84	17.1	7.4	無	多	無	75.1	38.1	105	25.2	微	少	中上
	スズユタカ(標準)	8.02	10.19	84	16.8	8.1	微	多	無	72.2	36.2	100	24.7	微	微	中上
	タチユタカ(比較)	7.30	10.13	72	17.1	3.8	無	少	無	57.6	30.5	84	25.5	少	無	中上

- 注) 1. 試験年次は1998～2002年の5カ年。  
 2. 各年次とも生育中のウイルス病および褐斑粒は見られず省略した。また品質は紫斑粒を除いて判定した。



で、「スズユタカ」と大差なく、外観品質は「スズユタカ」と同じ“中上”であった(表20)。

以上の結果から、「すずさやか」の熟期、収量、粒大および外観品質は「スズユタカ」並と言える。

## 2. 奨励品種採用県(秋田県)における成績

### 1) 秋田県農業試験場における成績

標準品種「タチユタカ」と比較して、成熟期は同じ10月18日で、主茎長は同品種より11cm長く、倒伏程度もやや多かった(表21)。子実重は「タチユタカ」対比で104%、百粒重と外観品質に大差なかった。

### 2) 秋田県の現地試験における成績

標準品種「タチユタカ」に比較して、成熟期は比内町では1日早く、能代市では1日遅く、太田町では4日遅かった(表21)。主茎長は10cm以上長く、

倒伏程度は同等かやや多かった。子実重は能代市で「タチユタカ」対比91%と低かったが、比内町で113%、太田町で119%と高かった。百粒重は「タチユタカ」より軽く、外観品質は同等であった。

以上の結果から、「タチユタカ」に比較して、「すずさやか」は粒大がやや小さく、主茎長が長くて倒伏がやや多いと言える。

### 3) 秋田県農業試験場におけるリポキシゲナーゼ欠失品種選定試験

秋田県農業試験場では、「すずさやか」とリポキシゲナーゼ全欠の「いちひめ」を供試して、リポキシゲナーゼ欠失品種の選定試験を行った。1998年と1999年の2か年の平均で、「すずさやか」は「いちひめ」に比較して、分枝が1.0本少なく、収量は5%、百粒重は2.1g、それぞれ上回った(表22)。

表21 秋田県における奨励品種決定調査の試験成績

試験場所	品 種 名	開 花 期 (月日)	成 熟 期 (月日)	主 茎 長 (cm)	主 茎 節 数 (節)	分 枝 数 (本/株)	生育中 の障害		全 重 (kg/a)	子 実 重 (kg/a)	対 標 準 比 (%)	百 粒 重 (g)	障害粒 の程度			品 質
							蔓 化	倒 伏					紫 斑	褐 斑	裂 皮	
秋田農試	すずさやか	8.03	10.18	84	17.6	4.1	微	少	68.6	33.6	104	26.7	無	無	微	中中
	タチユタカ(標)	7.30	10.18	73	18.5	2.9	無	無	61.5	32.3	100	28.0	無	無	無	中上
	リュウホウ(比)	7.25	10.07	68	15.3	4.0	無	無	63.6	36.6	113	34.4	無	無	微	中上
比内町	すずさやか	8.07	10.16	102	19.1	3.3	無	少	76.7	35.9	113	22.5	微	無	無	中下
	タチユタカ(標)	8.01	10.17	91	20.0	2.3	無	無	65.3	31.9	100	28.6	少	無	無	中下
	リュウホウ(比)	7.29	10.09	85	17.0	3.3	無	微	57.3	31.0	97	34.5	少	無	無	下
能代市	すずさやか	7.30	10.11	85	17.7	2.6	無	無	48.9	23.3	91	20.9	無	無	無	中上
	タチユタカ(標)	7.30	10.10	70	18.5	2.6	無	無	46.6	25.7	100	25.2	無	無	無	中上
	リュウホウ(比)	7.25	9.29	66	15.9	3.2	無	無	49.7	28.1	109	32.2	無	無	無	上下
太田町	すずさやか	8.03	10.09	78	18.2	3.5	無	無	50.0	22.8	119	22.4	無	無	無	中下
	タチユタカ(標)	7.29	10.05	60	17.5	0.9	無	無	36.8	19.2	100	24.5	微	無	無	中下
	リュウホウ(比)	7.27	9.28	62	14.7	3.2	無	無	49.5	27.9	145	31.6	無	無	無	中中
上小阿仁村	すずさやか	—	10.28	81	17.4	4.5	微	少	64.8	32.4	102	24.6	無	微	無	—
	リュウホウ(標)	—	10.18	66	15.3	4.8	無	微	64.2	32.0	100	31.4	無	無	無	—

注) 1. 試験年次は秋田農試が1998~2002年の5カ年で、1998~1999年までは秋田市仁井田、2000~2002年は移転により雄和町で実施。現地は比内町、能代市および太田町が2002年、上小阿仁村が2000~2002年。  
2. 各場所、各年次とも生育中にウイルス病および立枯れは見られず省略した。

表22 リポキシゲナーゼ欠失品種選定試験(秋田県農業試験場)

品 種 名	開 花 期 (月日)	成 熟 期 (月日)	主 茎 長 (cm)	主 茎 節 数 (節)	分 枝 数 (本/株)	生育中 の障害		全 重 (kg/a)	子 実 重 (kg/a)	標 準 対 比 (%)	百 粒 重 (g)	障害粒 の程度		品 質
						蔓 化	倒 伏					紫 斑	裂 皮	
すずさやか	8.03	10.18	76	17.4	3.5	微	少	54.1	26.7	105	25.3	微	無	中中
いちひめ(標準)	8.03	10.16	78	17.7	4.5	微	少	50.2	25.4	100	23.2	微	微	中中

注) 1. 試験年次は1998~1999年の2カ年。  
2. 各年次とも生育中のウイルス病と立枯れおよび褐斑粒が見られず省略した。

この結果、「すずさやか」は「いちひめ」よりも収量、粒大で優り、分枝が少ないことから機械化適性に優れると評価され、「すずさやか」の優位性が認められた。

### 3. 奨励品種採用県以外における概評

1998年～2002年の5か年に延べ30箇所て供試された。このうち福島県農業試験場で1999年に、福島県農業試験場相馬支場で1999年と2000年に、それぞれやや有望と評価された(表23)。他方、茨城県や栃木県、長野県、岐阜県等の東北地域以外では、ほとんどの場所でやや劣る、劣ると評価された。このため、関東以西の地域では栽培に不向きと言える。

### 命名の由来

本品種は、リポキシゲナーゼ全欠のため、これより製造される豆乳が「さわやか」な味わいで消費者に好まれ、また莢が「鈴」なりに稔って生産者に豊作をもたらし、広く普及することを願って「すずさやか」と命名した。なお、英語表記は「Suzusayaka」とする。

## ま と め

### 1. 適 地

公立試験研究機関における奨励品種決定調査の成績、成熟期が“中生の晩”とやや遅いこと、東北部で発生するダイズモザイクウイルスのCおよびD系統に抵抗性であること等から、「すずさやか」の栽培適地は東北中南部地域と判断される。

### 2. 栽培上の留意点

リポキシゲナーゼは高い酵素活性を持つため、2%程度の他品種の混入によっても青臭みが発生することから、本品種単独の集団栽培を行うとともに、収穫・調製時に他品種の混入が生じないように、純度管理を徹底することが大切である。また、水田転換畑などの肥沃地ではやや倒伏し易いので、密植や多肥を避ける必要がある。

### 3. 期待される効果

「すずさやか」は主要な病虫害に抵抗性を有し、さらにリポキシゲナーゼ全欠という新規規質を備えた品種である。リポキシゲナーゼ全欠により青臭みの発生が抑えられることから、飲みやすい豆乳が製

表23 採用県以外の奨励品種決定調査における成績の概要一覧(抜粋)

県名	試験場所	1998			1999			2000			2001			2002			標準品種
		収量比(%)	成熟期(日)	概評	収量比(%)	成熟期(日)	概評	収量比(%)	成熟期(日)	概評	収量比(%)	成熟期(日)	概評	収量比(%)	成熟期(日)	概評	
宮城	宮城農業セ	100	7	×												タンレイ	
福島	福島農試	76	1	◇	101	3	○	81	0	◇	89	0	◇	91	3	△	スズユタカ
	会津支場	123	2	◇	90	-1	◇										スズユタカ
	相馬支場	99	-1	◇	99	0	○	88	0	○							スズユタカ
茨城	農総セ農研	147	0	×													タチナガハ
	水田利用研	117	-6	×													タチナガハ
栃木	栃木農試	100	-2	×													タチナガハ
	黒磯分場	87	4	—													タチナガハ
長野	中信農試	107	2	△													エンレイ
岐阜	高冷地農試	105	-17	×													アキシロメ
	中山間農試	113	8	×													アキシロメ
滋賀	滋賀農試	101	4	◇	95	5	×										エンレイ
	湖北分場				93	-3	×										オオツル
鳥取	鳥取農試	89	-20	×													タマホマレ
山口	徳佐分場	35	-15	△													タマホマレ

注) 概評 ○: 有望, ○: やや有望, ◇: 再検討, △: やや劣る, ×: 劣る, —: 概評なし。

造できる。最近、豆乳に対する消費者の関心が高まっており、本品種の普及により、豆乳の一層の消費拡大が期待される。豆腐も青臭みが少なく、普通大豆との差別化が容易で、特産品の原料として期待される。

九州沖縄農業研究センターにおけるリポキシゲナーゼ全欠品種「いちひめ」や「エルスター」を用いた加工試験では、リポキシゲナーゼ全欠大豆を使用することにより小麦粉や卵、食用油などと併用しても風味や食味が損なわれず、美味しい大豆加工食品が製造できることが示されている(須田1999)。今後、「すずさやか」についても同品種を用いた新たな加工食品の開発等、用途の拡大が期待される。品種採用の秋田県のO農協では、「すずさやか」を米と合わせて集落営農の戦略作物と位置づけ、2007年以降700～1000haの栽培を予定し、普及に向けた積極的な取り組みが行われている。

4. 今後の課題

「すずさやか」の熟期は“中生の晩”とやや遅いことから、東北北部には不向きであり、同地域に向

く早熟なりポキシゲナーゼ全欠品種の育成が望まれる。また、本品種は倒伏抵抗性が必ずしも強くないことから、機械化栽培向きに倒伏抵抗性の強化も重要である。

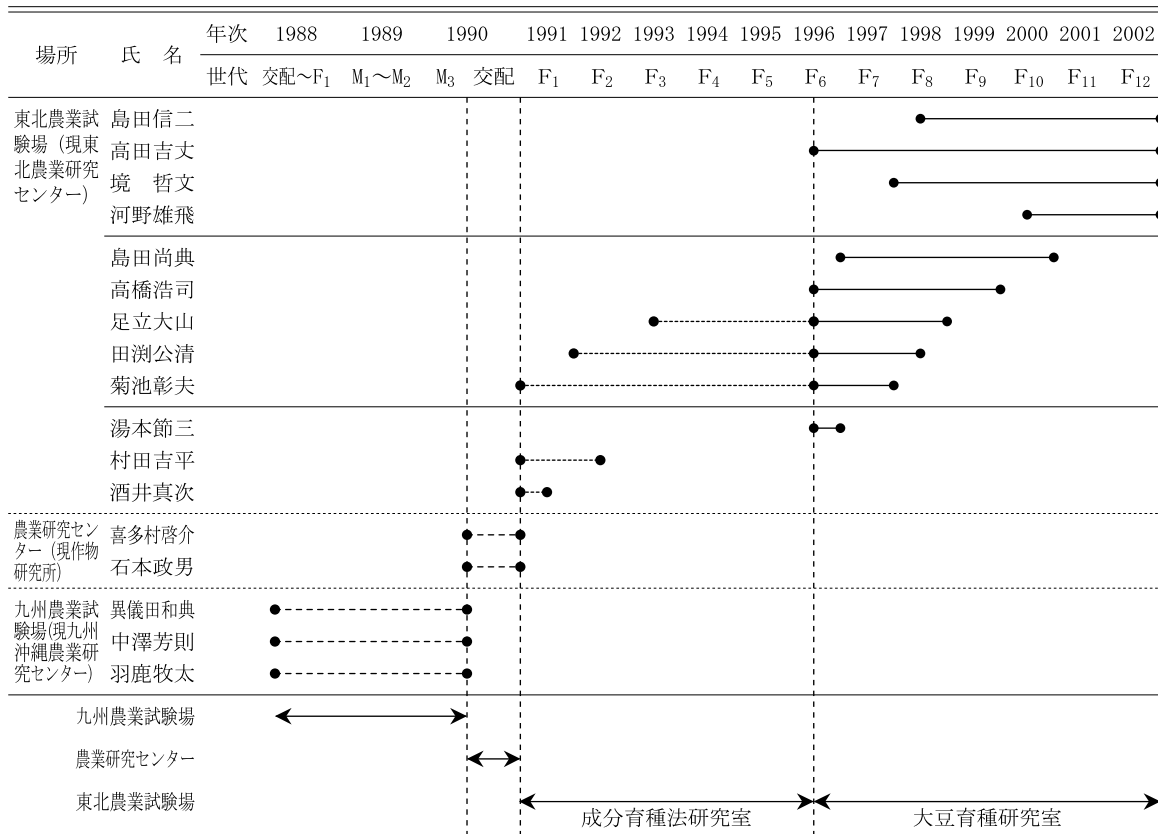
育成従事者

育成従事者と担当世代を表24に示した。なお、本品種の父親のリポキシゲナーゼ全欠系統「九交355F<sub>2</sub>( $\gamma$ )-M<sub>4</sub>」は育成途中の系統であったことから、この系統の育成も含めて育成期間とすることとした。

引用文献

- 1) だいず種苗特性分類調査委員会. 1995. 種苗特性分類調査報告書 だいず. 日本特殊農作物種苗協会. 55p.
- 2) Davies, C.S.; Nielsen, N.C. 1986. Genetic analysis of a null-allele for lipoxygenase-2 in soybean. Crop Sci. 26 : 460-462.

表24 育成従事者と担当世代



注) 1988(交配)～1990(M<sub>3</sub>)は九交355F<sub>2</sub>( $\gamma$ )-M<sub>4</sub>の育成についてである。

- 3) Hajika, M.; Kitamura, K.; Igita, K.; Nakazawa, Y. 1992. Genetic relationships among the genes for lipoxygenase-1, -2 and -3 isozymes in soybean [*Glycine max* (L.) MERRILL] seed. Japan. J. Breed. 42 : 787-792.
- 4) 羽鹿牧太, 高橋将一, 異儀田和典, 酒井真次, 中澤芳則. 2002. ダイズ新品種「いちひめ」の育成とその特性. 九州沖縄農業研究センター報告 40 : 79-94.
- 5) 橋本鋼二, 長沢次男, 村上昭一, 渡辺巖, 国分喜治郎, 小山隆光, 中村茂樹, 松本重男, 松本定夫, 佐々木紘一. 1984. ダイズ新品種「スズユタカ」の育成. 東北農試研報 70 : 1-38.
- 6) Hildebrand, D.F.; Hymowitz, T. 1982. Inheritance of lipoxygenase-1 activity in soybean seed. Crop Sci. 22 : 851-853.
- 7) Kitamura, K.; Davies, C. S.; Kaizuma, N.; Nielsen, N. C. 1983. Genetic analysis of a null-allele for lipoxygenase-3 in soybean seeds. Crop Sci. 23 : 924-927.
- 8) Kitamura, K.; Kumagai, T.; Kikuchi, A. 1985. Inheritance of lipoxygenase-2 and genetic relationship among genes for lipoxygenase-1, -2 and -3 isozymes in soybean seeds. Japan. J. Breed. 35 : 413-420.
- 9) 喜多村啓介, 石本政男, 菊池彰夫, 海妻矩彦. 1992. リポキシゲナーゼ欠失ダイズ新品種「ゆめゆたか」の育成. 育雑 42 : 905-913.
- 10) 村田吉平, 菊池彰夫, 酒井真次. 1991. 大豆裂皮性簡易検定法(吸水裂皮法)について. 日作東北支部会報 34 : 57-58.
- 11) 須田郁夫. 1999. リポキシゲナーゼ完全欠失大豆の機能性と新規加工食品創出. 豆類時報 14 : 32-38.
- 12) 高橋将一, 松永亮一, 小松邦彦, 羽鹿牧太, 酒井真次, 異儀田和典, 中澤芳則. 2003. ダイズ新品種「エルスター」の育成とその特性. 九州沖縄農業研究センター報告 42 : 49-65.
- 13) 土屋武彦, 砂田喜与志. 1978. 大豆の裂莢性に関する育種学的研究. II 裂莢性の検定方法と品種間差異. 道立農試集報 39 : 19-26.

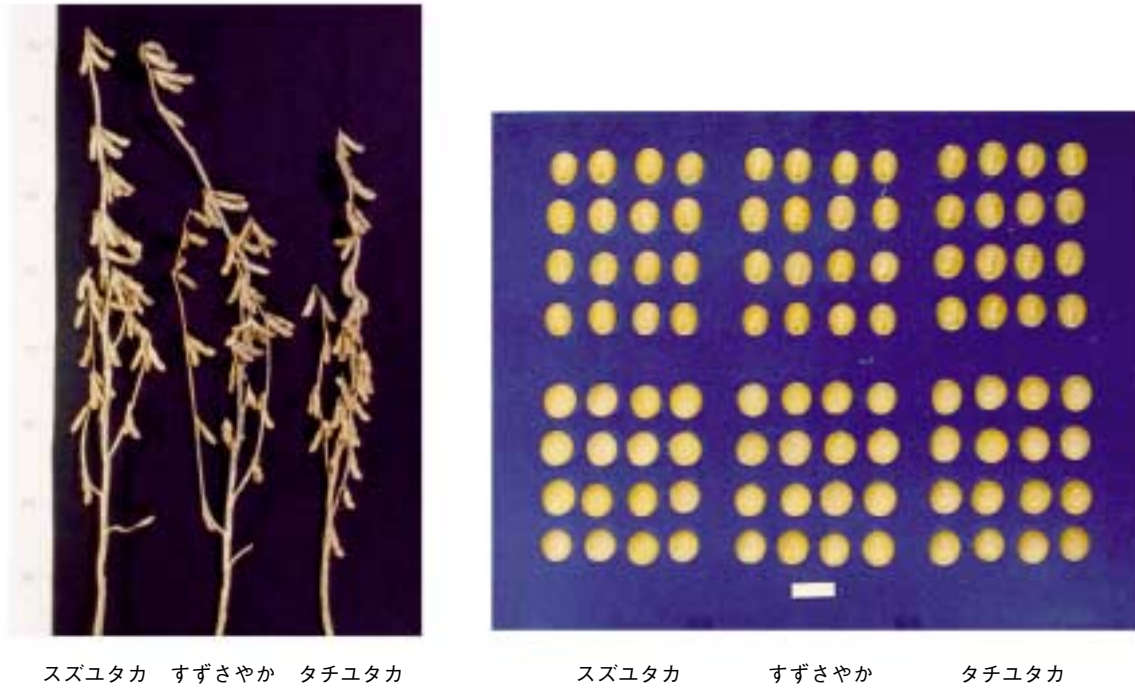


写真1 「すずさやか」の草本と子実の形態

(2002年 東北農業研究センター大豆育種研究室(刈和野)産)  
2002年5月30日播種, 畦幅75cm, 株間16cm, 1株2本立

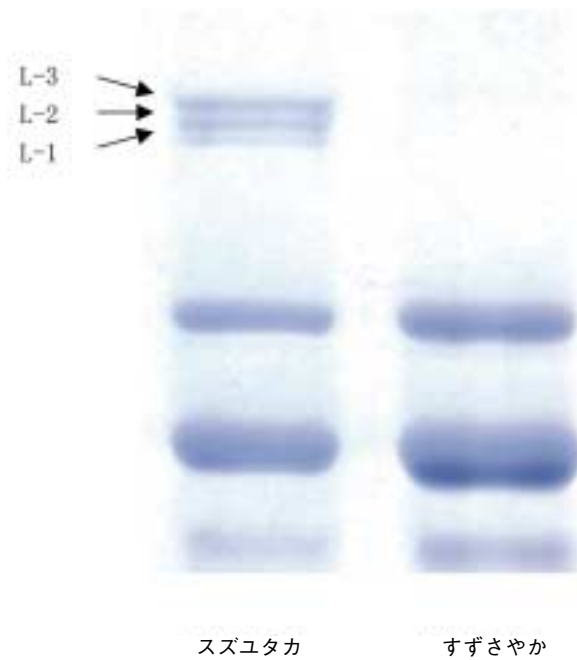


写真2 子実中のリボキシゲナーゼの電気泳動像

注) L-1, L-2, L-3は3種類のリボキシゲナーゼアイソザイムを示す。

## ナタネ新品種「菜々みどり」の育成

石田 正彦<sup>\*1)</sup>・山守 誠<sup>\*2)</sup>・加藤 晶子<sup>\*2)</sup>・千葉 一美<sup>\*3)</sup>  
 奥山 善直<sup>\*3)</sup>・田野崎真吾<sup>\*3)</sup>・菅原 侗<sup>\*3)</sup>・遠山 知子<sup>\*3)</sup>  
 遠藤 武男<sup>\*3)</sup>・柴田 悖次<sup>\*3)</sup>

抄 録：2004年3月、ナタネ「東北89号」がナタネ新品種「菜々みどり」として種苗法に基づく品種登録がなされた。本品種は、東北地方に適した耐寒雪性に優れた無エルシン酸ナタネで、なたね油用（油糧作物）となばな用（野菜）に兼用できる多収品種の育成を目標として、1989年に東北農業試験場（現 東北農業研究センター）において、東北84号（後の「キザキノナタネ」）を母に、「カミキタナタネ」を父として人工交配を行い、以後、選抜・固定を図り、育成した品種である。「菜々みどり」は、寒雪害に対しては「キザキノナタネ」と同等以上であり、菌核病に対しても強い。なたね油用としての特性は子実中にエルシン酸を含まず、成熟期は「キザキノナタネ」並の“中の晩”で、子実収量は「キザキノナタネ」には劣るが、多収である。なばな用としては、収穫期間は「かぶれ菜」より一週間程度早く、「カミキタナタネ」並であり、一本重は「かぶれ菜」や「カミキタナタネ」よりも重い。収量は育成地では「かぶれ菜」並で、栽培予定県では「かぶれ菜」よりも多収であるが、「カミキタナタネ」よりはやや少ない。この品種は東北地方での栽培に適し、青森県においてなばな用として普及が図られている。

キーワード：ナタネ、油糧作物、なたね油、野菜、なばな無エルシン酸、耐寒雪性

**New Variety of Winter Rapeseed, “Nanamidori”** : Masahiko ISHIDA<sup>\*1)</sup>, Makoto YAMAMORI<sup>\*2)</sup>, Masako KATO<sup>\*2)</sup>, Ichimi CHIBA<sup>\*3)</sup>, Yoshinao OKUYAMA<sup>\*3)</sup>, Shingo TANOSAKI<sup>\*3)</sup>, Satoshi SUGAWARA<sup>\*3)</sup>, Tomoko TOYAMA<sup>\*3)</sup>, Takeo ENDO<sup>\*3)</sup> and Mototsugu SHIBATA<sup>\*3)</sup>

**Abstract** : A new rapeseed cultivar “Nanamidori” was developed at the National Agricultural Research Center for Tohoku Region, NARO, and its variety registration was carried out by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF) in 2004. “Nanamidori” was selected from the progenies of the cross of “Kizakino-natane/Kamikita-natane,” with the aim of developing a new rapeseed cultivar with the following properties: adaptability to the northern Tohoku region of Japan, zero erucic acid content, tolerance to cold and snow damage and aptitude in vegetable uses.

The major agronomic characteristics of “Nanamidori” as oilseed rape are as follows. Like “Kizakino-natane,” the maturity is late to medium and the tolerance to cold and snow damage is strong. The plant height is about the same as “Kizakino-natane.” The resistance to sclerotinia disease is strong. The yielding ability is high, about the same as “Kizakino-natane.” The content of erucic acid in extracted oil is zero. The oil content is medium and slightly lower than that of “Kizakino-natane.”

The agronomic characteristics of “Nanamidori” as vegetable rapeseed are as follows. The harvesting time is earlier than “Kaburena” and the same as “Kamikita-natane,” and the weight of its flower stalks is heavier than both “Kaburena” and “Kamikita-natane.” The vegetable yield is slightly lower than “Kamikita-natane” but higher than “Kaburena.” The resistance to clubroot disease is weak.

“Nanamidori” is well adapted to the northern Tohoku region of Japan.

**Key Words** : Rapeseed, Oil crop, Rapeseed oil, Vegetable rapeseed, Zero-erucic acid, Tolerance to cold and snow damage

\* 1) 現・野菜茶業研究所 (National Institute of Vegetable and Tea Science, Ano, Mie 514-2392, Japan)

\* 2) 東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Morioka, Iwate 020-0198, Japan)

\* 3) 元・東北農業試験場 (Retired, Tohoku National Agricultural Experiment Station, Morioka, Iwate 020-0198, Japan)  
 2005年11月1日受付, 2005年12月19日受理

緒 言

ナタネ (*Brassica napus* L.) は油糧用途のほかに越冬後の若葉や抽苔した花茎・花蕾が野菜としても利用されており, 'なばな' や '茎立ち菜', '摘み菜' 等の呼称で地域特産野菜として全国的に作付けされている(石田 2004)。東北地方でも積雪が少ない地域を主に産地が形成されており, 冬春期における高収益性作物として栽培されている。一般に, なばな栽培には専用の育成品種や在来種が利用されるが, これら品種は耐寒雪性に劣る。このため, 青森県ではなばなとしても食味が優れるなたね油用品種の「カミキタナタネ」が主に利用されてきた(農林水産省生産局野菜課 2004)。

現在, 同県はナタネの主要生産県であり, 全国生産量の50%以上を占めているが, その普及品種はエルシン酸を含まない「キザキノナタネ」である(石田 2003)。一方, 「カミキタナタネ」にはエルシン酸が含まれることから, 自然交雑による「キザキノナタネ」のエルシン酸汚染が懸念されている。

このような背景から, 東北農業試験場(当時)では越冬性に優れ, 野菜としても利用できる無エルシン酸ナタネの育種に着手した。その中で, なたね油用(油糧作物)の無エルシン酸ナタネとして1989年より育種を進めてきた系統がなばな用(野菜)としての利用も期待できたことから, 1994年からはなたね油用となばな用の両面から選抜を進めた。その結果, 目標に合致する配布系統が育成され, 2000年に「菜々みどり」と命名された。「菜々みどり」

は名称登録のみで命名登録はされなかったが, なばな用としての普及が期待されたので, 2004年3月に種苗法に基づく品種登録がなされた。そこで, その来歴と育成経過, 特性及び栽培上の留意点について報告し, 今後の普及及び品種育成の参考に供する。

本品種の育成に当たり, 青森県農林総合研究センター畑作園芸試験場及び系統適応性検定試験, 特性検定試験に当たられた関係公立試験研究機関の担当各位には多大なご尽力をいただいた。また, 東北農業研究センターの関係者各位, 特に業務科の伊東健二, 佐藤卓見, 関村良蔵, 齊藤隆, 武蔵孝仁, 藤澤忠, 齊藤真一, 中島浩之, 齊藤文隆, 後藤正幸の諸氏には栽培管理や調査・選抜業務等において多大な協力を得た。さらに, 酒井真次元作物開発部長には終始ご指導と多大なご尽力をいただいた。なお, 育成業務を遂行された元東北農業研究センター業務科職員, 故藤澤敏彦氏の多労に深く感謝する。

来歴と育成経過

「菜々みどり」(旧系統名: 東北89号)は1989年5月(1988年度播種, 以下播種年度で示す)に東北農業試験場盛岡試験地(現, 東北農業研究センター)において, 無エルシン酸で耐寒雪性に優れ, なばな用としても利用可能なナタネ品種の育成を目的として「東北84号」(後の「キザキノナタネ」)を母とし, 「カミキタナタネ」を父として人工交配を行い, 系統育種法により育成された品種である。本品種の系譜を図1に, 両親の主要特性を表1に示した。

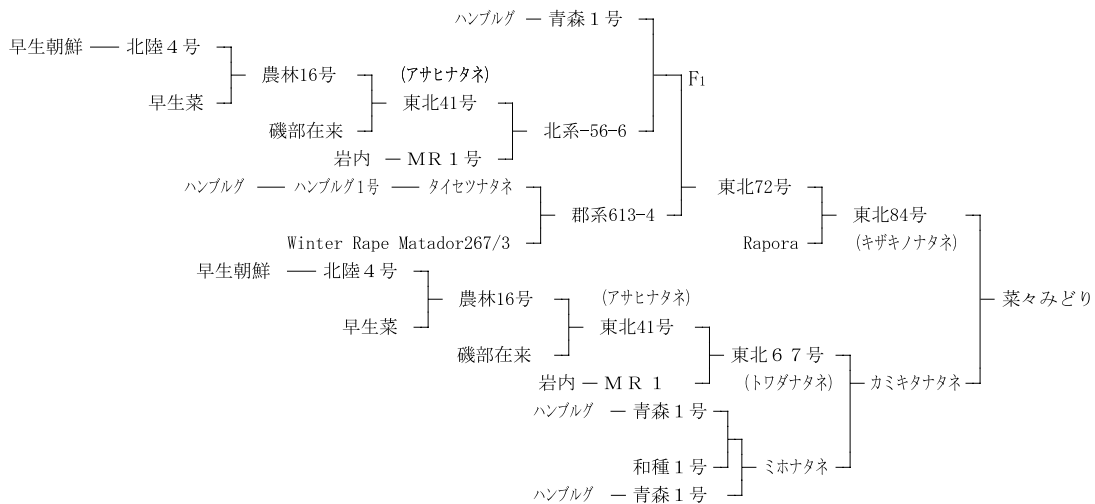


図1 「菜々みどり」の系譜

「菜々みどり」の育成経過の概要を表2に示した。すなわち、1989年度にF<sub>1</sub>を養成し、1990年度にF<sub>2</sub>個体選抜、1991年度に脂肪酸の分析を行い、低エルシン酸のF<sub>3</sub>個体を選抜し、1992年度より系統育種法によって無エルシン酸系統を選抜して固定を図り、雑種第5代の1994年度から生産力検定予備試験、系統適応性検定試験(青森県畑作園芸試験場)、特性検定試験に供試した。その結果、成績が良好であったので、1996年度よりナタネ「東北89号」の系統名を付して生産力検定試験、青森県畑作園芸試験場における奨励品種決定調査、鹿児島県農業試験場大隅支場における特性検定試験(耐病性)に供してきた。また、なばな用としての利用性が期待され

たので、1998年度よりなばな用として系統適応性検定試験、特性検定試験、生産力検定試験に供試し、地域適応性や耐病性を検討してきた。種苗法に基づく品種登録出願時(1999年度)における世代は雑種第10代である。

### 特性の概要

#### 1. なたね油用(油糧作物)としての特性

「菜々みどり」と標準品種「キザキノナタネ」、比較品種「アサカノナタネ」の主要特性について、なたね種苗特性審査基準(1983)に従って分類した結果を表3~4に示した。

表1 両親の特性

品種名	草型	草丈	第1次分枝数	葉色	花色	穂長	粒色	開花期	成熟期	耐倒伏性
東北84号	Ⅲ	長	少	緑	黄色	長	黒	中の晩	中の晩	強
カミキタナタネ	Ⅲ	中	少	緑	黄色	中	黒	中の晩	中の晩	極強

表2 育成経過一覧

年度(播種)		1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
世代		交配	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	分析	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>	F <sub>10</sub>
供試	系統群数					1	15	8	8	1	1	1	1
	系統数	24花	1	1,047	129	30	32	24	24	4	4	5	5
選抜	系統群数			1			6	8	1	1	1	1	1
	系統数		1			15	8	8	1	1	1	1	1
	個体数			131	30	32	24	24	4	4	5	5	5

表3 「菜々みどり」の形態的特性

品種名	草型	草丈	第1次分枝数	葉形	欠刻	アントシアンの有無		根の肥大
						葉	茎・莢	
菜々みどり	Ⅲ	長	少	楕円形	深	無	無	無
キザキノナタネ	Ⅲ	長	少	楕円形	深	無	無	無
アサカノナタネ	Ⅱ	中	中	楕円形	深	無	無	無

品種名	花色	穂長	一穂莢数	莢長	着莢密度	一莢結実数	粒色	粒大整否
菜々みどり	黄色	中の長	多	中の短	中	少	灰黒	整
キザキノナタネ	黄色	長	多	中の短	中	中	黒	整
アサカノナタネ	黄色	中	多	短	中	小	黒	整

注. キザキノナタネ; 標準品種, カミキタナタネ; 比較品種, 以下同じ



表4 「菜々みどり」の生態的特性

品種名	春播性程度	抽苔期	開花期	成熟期	耐倒伏性		寒雪害抵抗性
					茎	穂	
菜々みどり	低	中の晩	晩	中の晩	強	強	強
キザキノナタネ	低	中の晩	中の晩	中の晩	強	強	強
アサカノナタネ	高	早	中	中	中の強	中の強	中

品種名	菌核病抵抗性	子実収量	千粒重	含油率	エルシン酸含有率	グルコシノレート含量
菜々みどり	強	多	中	中	無	多
キザキノナタネ	強	多	中の重	中	無	多
アサカノナタネ	弱	多	中	中	無	中

## 1) 形態的特性

「菜々みどり」の草型は“Ⅲ”で、草丈は「キザキノナタネ」並の“長”であり、第1次分枝数は「キザキノナタネ」と同じく“少”で「アサカノナタネ」よりも少ない。葉の形は“楕円形”で、欠刻は“深”である。葉及び茎・莢のアントシアンは“無”で、根の肥大も“無”である。花色は“黄色”である。穂長は“中の長”で、「キザキノナタネ」よりやや短い。1穂莢数は「キザキノナタネ」と同じ“多”であり、莢長と着莢密度は同程度でそれぞれ“中の短”及び“中”である。1莢結実数は「キザキノナタネ」よりも少なく“少”である。粒色は“灰黒”で、粒大は「キザキノナタネ」よりやや小さいが、揃っている(表3, 写真1~3)。

## 2) 生態的特性

「菜々みどり」の春播性程度は「アサカノナタネ」よりも低く、「キザキノナタネ」並の“低”である。抽苔期と成熟期は「キザキノナタネ」並の“中の晩”であるが、開花期はやや遅い“晩”の中晩生種である。耐倒伏性は「キザキノナタネ」並の“強”で、「アサカノナタネ」よりも明らかに強い。子実収量性は多である。千粒重は“中”で、「キザキノナタネ」に比べてやや軽い(表4)。

## 3) 成分品質特性

子実成分品質を表4及び表5に示した。「菜々みどり」の子実含油率は“中”に属するが、「キザキノナタネ」に比べて4%以上低い。油中のエルシン酸含有率は「キザキノナタネ」や「アサカノナタネ」と同じく0%の“無”である。また、オレイン酸含有率は「アサカノナタネ」と同程度の約60%であ

る。グルコシノレート含量は“多”で、「キザキノナタネ」並である。

## 4) 病害抵抗性

育成地及び鹿児島県農業試験場大隅支場における菌核病及び黒斑細菌病の抵抗性調査結果を表6に示す。「菜々みどり」の菌核病抵抗性は「キザキノナタネ」と同程度かやや強い。黒斑細菌病抵抗性は「キザキノナタネ」と同程度である。

## 5) 耐寒雪性

育成地における耐寒雪性検定試験結果(表7)によれば、「菜々みどり」の越冬株率は「キザキノナタネ」と同程度かやや低く、寒雪害被害程度は「アサカノナタネ」よりも明らかに小さく、「キザキノナタネ」よりも小さかった。これらの結果から、「菜々みどり」の耐寒雪性は「アサカノナタネ」より強く、「キザキノナタネ」と同じく“強”である。

## 2. なばな(野菜用)としての特性

## 1) 形態的・生態的特性

「菜々みどり」のなばな用としての形態的・生態的特性を在来なたね(花蕾(茎)用)種苗特性審査基準に従って表8に示した。抽苔性は「かぶれ菜」よりもやや早い“中の晩”で、抽苔の草姿は「CO」と同じく“開”である。分枝性は“中の多”で「かぶれ菜」よりもやや多い。花茎の色は“濃緑”で、着色はない。花茎の太さは“太”であり、花蕾の色は“淡緑”で、花蕾の着色はなく、側花蕾の大きさは“中”である(写真4)。

## 2) 病害抵抗性

青森県畑作園芸試験場及び愛知県農業総合試験場における根こぶ病の抵抗性調査結果を表9に示す。

表5 子実成分品質調査成績

生産地	品種名	乾物重当たり	エルシン酸	オレイン酸
		含油率 (%)	含有率 (%)	含有率 (%)
育成地	菜々みどり	40.6	0.0	60.1
	キザキノナタネ	46.2	0.0	63.8
	アサカノナタネ	43.5	0.0	60.8
青森畑園試	菜々みどり	37.4	0.0	58.3
	キザキノナタネ	42.0	0.0	61.7
	アサカノナタネ	—	0.0	60.9

注. 1) 油分含量分析はソックスレー法による。脂肪酸組成分析は自殖採種種子を用い、ガスクロマトグラフによる。

2) 育成地は1998～1999年度の平均。青森畑園試は1999年度の成績

表6 病害抵抗性検定試験成績

品種名	菌核病 (育成地)		黒斑細菌病・菌核病 (鹿児島県農試・大隅支場)	
	罹病指数	罹病株率 (%)	黒斑細菌病発病程度	菌核病発病程度
菜々みどり	3.67	7.6	1.2	0.3
キザキノナタネ	7.19	10.7	1.4	0.0
アサカノナタネ	55.96	70.0	3.5	4.0

注. 1) 罹病指数は数字が小さいほど罹病の程度が小さいことを示す。

2) 罹病指数 =  $(X1+2X2+3X3+4X4+5X5) / n \times (100/5)$

n=全個体数, X=個体数, 無(X0), 微(X1), 少(X2), 中(X3), 多(X4), 甚(X5)

発病程度; 無(0): 主茎の被害株率が0%, 微(1): 5%未満, 少(2): 5～10%, 中(3): 10～15%, 多(4): 15～20%, 甚(5): 20%以上

3) 試験年次: 育成地; 1996～1999年度の4カ年の平均値, 大隅支場; 1996～1997年度の2カ年の平均値

表7 耐寒雪性検定試験成績

品種名	育成地		岩手県山形村	
	越冬株率 (%)	寒雪害の被害指数	越冬株率 (%)	寒雪害の被害指数
菜々みどり	91	11.6	97	12.5
キザキノナタネ	96	14.1	96	26.0
カミキタナタネ	86	24.8	—	—
アサカノナタネ	90	31.6	73	59.2

注. 1) 被害指数は数字が小さいほど被害の程度が小さいことを示す。

2) 被害指数 =  $100A+70B+50C+30D+10E+F / (A+B+C+D+E+F)$

A=株全体が枯死しているもの。B=葉は全く枯死し、芯にも一部枯死がみられるもの。

C=葉は全く枯死しているが、芯が生きているもの。D=葉の枯死が1/2以上のもの。

E=葉の枯死が1/2～1/10のもの。F=葉の枯死が1/10以下のもの。

3) 試験年次: 1998～1999年度の2カ年の平均値 (育成地におけるカミキタナタネと山形村におけるアサカノナタネはそれぞれ1998年と1999年の単年度成績)



写真1 草姿(育成地)

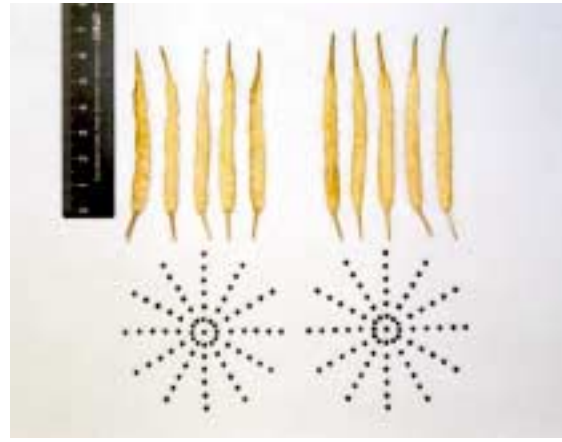


写真2 莢及び子実(育成地)



写真3 開花盛期の「菜々みどり」(育成地)



写真4 「菜々みどり」の草姿(なばな用)

「菜々みどり」の根こぶ病発病指数は「かぶれ菜」に比べて大きいですが、根こぶ病に対する抵抗性は「かぶれ菜」や他の品種と同様に罹病性の“弱”である。

### 3) 耐寒性

青森県畑作園芸試験場における耐寒性検定試験結

果（表10）によれば、「菜々みどり」の越冬株率は「はるの輝」よりも高く、「かぶれ菜」や「カミキタナタネ」と同程度である。越冬後の葉枯れ程度は「かぶれ菜」に比べて小さく、越冬後のアントシアニンの発生は「かぶれ菜」や「カミキタナタネ」並

表8 なばな用として形態・生態的特性

品種名	抽苔性	抽苔の草姿	分枝性	花茎の色	花茎の着色	花茎の太さ	花蕾の色	花蕾の着色	側花蕾の大きさ
菜々みどり	中の晩	開	中の多	濃緑	なし	太	淡緑	なし	中
かぶれ菜	晩	中	中	濃緑	なし	中	淡緑	淡	中
紅葉苔	中	立	多	紫	濃	細	緑	中	小
CO	晩		中の多	緑	淡	太	淡緑	なし	中

注. キザキノナタネ；標準品種，カミキタナタネ；比較品種，以下同じ

表9 根こぶ病抵抗性検定試験成績（1999年度）

検定場所	処理	品種名	調査株数	発病株率 (%)	発病指数
青森県畑作園芸試験場	自然発病区	菜々みどり	130	77.7	0.78
		かぶれ菜	115	27.8	0.30
		カミキタナタネ	144	86.1	0.92
愛知県農業総合試験場	自然発病区	菜々みどり	20	100	2.95
		かぶれ菜	20	75	1.85
		カミキタナタネ	20	95	3.00
総合試験場	接種区	菜々みどり	20	100	1.25
		かぶれ菜	20	100	1.00
		カミキタナタネ	20	100	1.80

注. 1) 発病指数は数字が小さいほど発病程度が小さいことを示す。

2) 発病指数 =  $(0 \times n_0 + 1 \times n_1 + 2 \times n_2 + 3 \times n_3) / N$

$n_0 \sim n_3$  : 各程度の個体数,  $N$  : 全個体数

発病程度 : 0 = 健全, 1 = 軽, 2 = 中, 3 = 甚

表10 青森県畑作園芸試験場における耐寒性検定試験成績（1998～1999年度の平均）

品種名	越冬株率 (%)	葉枯れ指数		アントシアニン発色指数		越冬後の茎と葉柄の割れ指数
		越冬前	越冬後	越冬前	越冬後	
菜々みどり	91.1	0.33	2.14	0.69	1.22	0.21
かぶれ菜	87.8	0.35	2.87	1.29	1.41	0.58
カミキタナタネ	93.2	0.54	2.36	0.48	1.19	0.62
はるの輝	71.1	0.55	2.92	0.58	0.94	0.31
キザキノナタネ	83.0	0.32	2.31	0.49	0.98	0.23

注) 1) 葉枯れ, アントシアニン発色, 茎・葉柄割れ指数は数字が小さいほど障害程度が小さいことを示す。

2) 指数 =  $(0 \times n_0 + 1 \times n_1 + 2 \times n_2 + 3 \times n_3 + 4 \times n_4 + 5 \times n_5) / N$

$n_0 \sim n_5$  : 各指数の個体数,  $N$  : 全個体数

障害程度の指数 : 0 = 無, 1 = 一部のみ発生, 3 = 半数程度発生, 5 = ほぼ全体に発生

3) 越冬前調査月日 : 平成10年12月16日, 平成11年12月6日

越冬後調査月日 : 平成11年4月12日, 平成12年4月14日

であるが、茎・葉柄割れの発生は少ない。

### 生産力及び栽培特性

#### 1. 育成地における成績

##### 1) なたね生産力検定試験成績

なたね(油糧作物)生産力検定試験を1996～1999年度の4年間実施した。各年次とも9月上中

旬の標準播き・条播栽培と標準播き・密播栽培及び約10日後の晩播・条播栽培と晩播・密播栽培の4種類の試験を行った。生育調査の結果を表11、収穫物調査の結果を表12に示す。

いずれの試験区においても、「菜々みどり」は「キザキノナタネ」に比べて開花期が3～4日遅く、成熟期は同程度の中晩生である。草丈は「キザキノ

表11 なたね油用としての生育調査成績(育成地, 1996～1999年度の平均)

栽培様式	品種名	開花期 (月日)	成熟期	越冬株率 (%)	菌核病 被害程度	倒伏の 程度	草丈 (cm)	穂長 (cm)	1穂莢数 (莢)	
標準播種	条播	菜々みどり	5. 6	7. 2	97	無～微	無～微	150	51	54
		キザキノナタネ	5. 3	7. 2	97	無～微	無～微	146	54	61
		アサカノナタネ	5. 2	6. 27	94	少	微～少	128	51	41
	密播	菜々みどり	5. 7	7. 2	86	無～微	無～微	150	48	47
		キザキノナタネ	5. 4	7. 2	84	無～微	微	141	50	53
		アサカノナタネ	5. 1	6. 27	75	少	少	119	45	29
晩播栽培	条播	菜々みどり	5. 7	7. 2	96	無～微	無～微	148	51	55
		キザキノナタネ	5. 4	7. 2	96	無～微	無～微	144	58	62
		アサカノナタネ	5. 4	6. 30	95	微～少	微～少	137	47	45
	密播	菜々みどり	5. 8	7. 3	86	無～微	無～微	140	46	45
		キザキノナタネ	5. 4	7. 2	78	無～微	微	134	48	50
		アサカノナタネ	5. 4	6. 28	88	少	少	137	43	35

注. キザキノナタネ: 標準品種, アサカノナタネ: 比較品種, 以下同じ。

表12 なたね油用としての収穫物調査成績(育成地, 1996～1999年度の平均)

栽培様式	品種名	全重 (kg/a)	子実重 (kg/a)	対標準 比率(%)	リットル重 (g)	千粒重 (g)	穂発芽	外観品質	
標準播種	条播	菜々みどり	96.7	27.3	81	680	4.0	微	中上～中中
		キザキノナタネ	98.4	33.5	100	676	4.3	無～微	中上
		アサカノナタネ	85.6	26.7	80	665	3.5	無～微	上下
	密播	菜々みどり	122.9	30.9	81	678	4.3	微	中上
		キザキノナタネ	116.7	38.1	100	677	4.4	微～少	中上
		アサカノナタネ	94.5	28.0	73	666	3.6	無～微	上下
晩播栽培	条播	菜々みどり	89.2	25.5	81	683	4.1	微～少	中中
		キザキノナタネ	88.0	31.3	100	680	4.3	少～中	中上
		アサカノナタネ	86.7	28.9	92	666	3.7	無～微	上下～中上
	密播	菜々みどり	102.9	26.3	83	681	4.4	微	中上
		キザキノナタネ	100.9	31.8	100	674	4.4	少	中上
		アサカノナタネ	108.0	32.3	102	663	3.8	無～微	上下

ナタネ」よりもやや長く、穂長はやや短く、1穂莢数は少ない。越冬株率は「キザキノナタネ」並に高く、菌核病抵抗性及び耐倒伏性も「キザキノナタネ」並で“強”である。子実収量は「キザキノナタネ」に比べて約20%少ない。リットル重は「キザキノナタネ」と同程度かやや重く、千粒重はやや同等かやや軽い傾向にある。粒揃いや穂発芽、及び外観品質は「キザキノナタネ」並である。

## 2) なばな(野菜)生産力検定試験成績

生育調査試験並びに収量調査試験結果を表13と表14に示した。さらに、なばな用に調製後の形質調査結果を表15に示した。

生育調査試験では「菜々みどり」は「かぶれ菜」と比較して抽苔期が5日早く、「カミキタナタネ」や「はるの輝」並である。収穫始めは「かぶれ菜」

より6日早く、収穫終期も同じく6日早く、「カミキタナタネ」と同等である。収量に関しては、「菜々みどり」は「かぶれ菜」並であり、「カミキタナタネ」よりも約20%多収である。収穫本数は「かぶれ菜」より17%少ないが、「カミキタナタネ」よりはやや多い。一本重は「かぶれ菜」や「カミキタナタネ」よりも約20%重い。また、調製後の草姿については、「かぶれ菜」と比較して調製長はやや短く、茎長・葉長はやや長く、葉数はやや多く、茎径も太い。「カミキタナタネ」に比べて葉数はやや少ないが、茎径は太く、草姿は「カミキタナタネ」と同様に優れている。

## 2. 青森県における試験成績

1) なたね油用としての生育及び収量調査成績  
青森県畑作園芸試験場において1996～1999年度

表13 なばな用としての生育調査成績(育成地, 1998～1999年度の平均)

品種名	抽苔期(月・日)	収穫始期～収穫終期(月・日)
菜々みどり	4.21	4.22～4.25
かぶれ菜	4.26	4.28～5.1
カミキタナタネ	4.20	4.22～4.25
はるの輝	4.21	4.25～4.28

注. かぶれ菜: 標準品種, カミキタナタネ: 比較品種, はるの輝: 比較品種, 以下同じ

表14 なばな用としての収量調査成績(育成地・露地栽培, 1998～1999年度の平均)

品種名	調製重		収穫本数		一本重	
	(kg/a)	標準比(%)	(本/a)	標準比(%)	(g)	標準比(%)
菜々みどり	99.2	99	3,205	83	31.0	120
かぶれ菜	99.8	100	3,858	100	25.9	100
カミキタナタネ	78.3	78	3,072	80	25.5	98
はるの輝	75.1	75	2,433	63	30.9	119

表15 なばな用としての調製後諸形質の調査成績(育成地, 1998～1999年度の平均)

品種名	調製長 (cm)	茎長 (cm)	葉長 (cm)	葉数	茎径 (mm)
菜々みどり	22.8	12.0	21.4	14.6	16.0
かぶれ菜	24.0	10.3	18.3	11.4	12.9
カミキタナタネ	22.1	12.3	20.8	16.6	14.5
はるの輝	23.6	15.8	21.3	12.2	13.0

まで奨励品種決定基本調査に、また1999年度には県内3か所で現地試験に供試した。

青森県畑作園芸試験場において実施された奨励品種決定調査結果を表16に示す。「菜々みどり」は成熟期が「キザキノナタネ」と同程度の中晩生である。草丈は「キザキノナタネ」と同程度で、穂長はやや短く、第1次分枝数は多い。耐倒伏性は「キザキノナタネ」並の強であり、菌核病罹病株率は「キザキノナタネ」よりも少ない。子実重は35.1 kg/aで、「キザキノナタネ」と同程度かやや劣る。千粒重と外観品質は「キザキノナタネ」並である。

横浜町と六ヶ所村、三沢市で実施された現地試験

の結果を表17に示す。「菜々みどり」は「キザキノナタネ」より成熟期が1～2日遅く、菌核病罹病株率は少ない。草丈は「キザキノナタネ」より六ヶ所村で15 cm長く、三沢市では同程度である。第1次分枝数は多い。子実重は六ヶ所村で26.6 kg/aであり「キザキノナタネ」より26%多収を示す。一方、三沢市では25.9 kg/aで、21%劣る。千粒重、粒大整否は「キザキノナタネ」と同程度である。

## 2) なばな用としての生育及び収量調査成績

青森県畑作園芸試験場において1998～1999年度まで系統適応性検定試験に、また1997～1999年度には青森県野辺地町で現地試験に供試した。

表16 なたね油用としての生育及び収量調査成績(青森県畑作園芸試験場, 1996～1999年度の平均)

品種名	成熟期	草丈 (cm)	穂長 (cm)	耐倒伏性		菌核病 罹病株率 (%)	第1次 分枝数 (本)	子実重 (kg/a)	対標準 比率 (%)	千粒重 (g)	外観品質
	月日			穂	茎						
菜々みどり	7.10	137	51	強	強	13.1	9.7	35.1	95	4.4	中上
キザキノナタネ	7.10	138	54	強	強	20.9	8.3	37.0	100	4.5	中上
アサカノナタネ	7.5	105	43	強	強	43.4	8.5	18.3	49	3.7	中上～中中

表17 なたね油用としての生育及び収量現地調査成績(青森県, 1999年度)

試験場所	品種名	成熟期	菌核病 罹病株率 (%)	草丈 (cm)	第1次 分枝数 (本)	子実重 (kg/a)	対標準 比率 (%)	千粒重 (g)	粒大 整否
		(月日)							
横浜町	菜々みどり	7.17	—	—	—	—	—	4.4	整
	キザキノナタネ	7.15	63.4	147	5.8	37.8	100	4.3	整
六ヶ所村	菜々みどり	7.16	24.1	136	6.9	26.6	126	4.1	整
	キザキノナタネ	7.15	44.7	121	4.3	21.1	100	3.8	整
三沢市	菜々みどり	7.16	33.6	154	8.3	25.9	79	4.3	整
	キザキノナタネ	7.14	55.7	152	6.6	32.8	100	4.3	整

注. 横浜町の「菜々みどり」は刈り取りミスのため一部調査できなかった。

表18 なばな用としての生育及び収量調査成績(青森県畑作園芸試験場, 1998～1999年度の平均)

品種名	抽苔期 (月日)	収穫始期～ 収穫終期 (月日)	総収量					上物収量	
			調製重量 (kg/a)	標準比(%)		収穫本数 (本/a)	一本重 (本/a)	収穫本数 (g)	調製重 (kg/a)
				対かぶれ菜	対キザキノナタネ				
菜々みどり	5.1	5.1～5.15	89.3	158	91	4,582	19.5	2,701	61.5
かぶれ菜	5.11	5.11～5.17	56.5	100	58	3,801	14.9	2,438	42.0
カミキタナタネ	4.30	5.1～5.13	98.2	174	100	5,114	19.2	3,106	69.2
はるの輝	5.1	5.2～5.14	61.8	109	63	3,420	18.1	1,281	29.6
キザキノナタネ	4.30	5.1～5.13	63.4	112	65	3,563	17.8	1,373	32.5

青森県畑作園芸試験場において実施された系統適応性検定試験結果を表 18 に示す。「菜々みどり」の抽苔期及び収穫始期は、「かぶれ菜」よりおよそ 10 日早く、「カミキタナタネ」並で、収穫終期は「かぶれ菜」より 2 日早い、「カミキタナタネ」よりも 2 日遅く、収穫期間は「カミキタナタネ」よりも 2 日間長く、収穫作業性に優れている。総収量は「かぶれ菜」より約 60 %多いが、「カミキタナタネ」よりも約 10 %少なく、収穫本数も「かぶれ菜」よりも多いが、「カミキタナタネ」よりやや少ない。一本重は「かぶれ菜」に優り、「カミキタナタネ」並に重い。上物収量の調製重は「かぶれ菜」より多いが、「カミキタナタネ」よりやや少ない。

青森県野辺地町で実施された現地試験の結果を表 19 に示す。「菜々みどり」の越冬株率は「かぶれ菜」より高く、「カミキタナタネ」よりもやや高い。収穫始期は「かぶれ菜」より早く、収穫期間は「カミキタナタネ」並である。調製後の一本重は「かぶれ菜」より 7.3 g 重く、「カミキタナタネ」よりやや重い。

## なばなとしての食味

東北農業試験場産について実施した食味特性の評価結果を表 20 に、青森県畑作園芸試験場において実施された食味特性の評価結果を表 21 に示す。「菜々みどり」は「かぶれ菜」や「カミキタナタネ」に比べて草姿は同等か優れているが、色は同等か劣り、光沢は少ない傾向にある。しかし、2 分程度でゆで上げたおひたしでの味や食感については同等か優れている。総合的には「かぶれ菜」や「カミキタナタネ」と同等の中位の食味である。

## 適応地帯及び栽培上の注意

### 1. 栽培適応地帯

福島県農業試験場におけるなたね油用として（ナタネ）の生育及び収量調査成績を表 22 に、宮城県園芸試験場及び岩手県農業研究センターにおけるなばな用として系統適応性検定試験成績を表 23 に示す。

「菜々みどり」のナタネとしての特性は、抽苔・

表 19 なばな用としての生育及び収穫現地調査成績（青森県野辺地町，1997～1999 年度の平均）

品種名	越冬株率 (%)	抽苔期 (月・日)	収穫期間 (月・日)	茎長 (cm)	葉長 (cm)	葉数	一本重 (g)	
							調製前	調製後
菜々みどり	95.8	4.16	4.9～4.22	13.9	32.4	11.4	91.9	27.3
かぶれ菜	79.9	4.23	4.18～4.28	4.2	24.2	7.4	41.4	20.0
カミキタナタネ	91.1	4.14	4.8～4.21	15.9	32.7	13.3	78.0	25.1
はるの輝	86.2	4.16	4.10～4.22	15.7	30.2	10.0	65.4	25.3

注. 茎長～一本重は中庸な10株を調査。

表 20 なばな用としての食味特性評価（育成地，1998～1999 年度の平均）

項目	品種名		
	菜々みどり	かぶれ菜	カミキタナタネ
草姿	3.2	3.0	2.6
色	2.7	3.4	3.7
光沢	2.4	3.6	3.4
甘味	3.3	3.2	3.1
苦味	2.3	2.8	2.5
硬さ（歯ごたえ）	3.0	3.2	3.1
総合評価	3.2	3.4	3.1

注. 1) 評点：1；劣，3；中，5；優

(甘み・苦みについては，1；弱，3；中，5；強)

2) 1998年度のパネラーは12名，1999年度のパネラーは17名。



開花期は「キザキノナタネ」より遅いが、成熟期は同程度の中晩生である。「キザキノナタネ」より草丈はやや長く、第1次分枝数はやや多い。子実重は「キザキノナタネ」並で、千粒重はやや小さい。

なばな用としては、両試験地共に収穫始期、収穫

終期とも「かぶれ菜」に比べてやや早い。また、「カミキタナタネ」と比べると収穫始期は宮城県園芸試験場では2日遅いが、岩手県農業研究センターでは同じであり、収穫終期は両試験共に2～3日遅い。収量(調製重)は、宮城県園芸試験場では「か

表21 なばな用としての食味特性評価(青森県畑作園芸試験場, 1998～1999年度の平均)

項目	品種名		
	菜々みどり	かぶれ菜	カミキタナタネ
草姿	2.9	2.5	2.8
色	3.4	3.2	3.3
光沢	3.0	3.2	3.4
甘味	3.2	3.1	2.9
苦味	3.3	2.8	3.5
硬さ(歯ごたえ)	3.2	3.2	3.1
総合評価	3.5	3.5	3.0

注. 1) 評点: 1; 劣, 3; 中, 5; 優  
(甘み・苦みについては, 1; 弱, 3; 中, 5; 強)  
2) 1998年度のパネラーは17名, 1999年度のパネラーは32名。

表22 なたね油用(ナタネ)としての生育及び収量調査成績(福島県農業試験場, 1999年度)

品種名	抽苔期 (月日)	開花期 (月日)	成熟期 (月日)	草丈 (cm)	第1次分 枝数(本)	全重 (kg/a)	子実重 (kg/a)	対標準 比率(%)	千粒重 (g)
菜々みどり	4.13	5.5	6.25	138	6.0	92.5	23.9	100	3.6
キザキノナタネ	4.10	4.29	6.25	130	5.3	92.1	23.9	100	4.0
アサカノナタネ	4.6	5.3	6.18	124	8.1	68.4	18.0	75	3.3

表23 なばな用としての形質別評価(系統適応性検定場所, 1998～1999年度の平均)

検定場所名	品種名	収穫期間 (月・日)	総収量(主枝)				食味の 総合評価
			調製重 (kg/a)	標準比 (%)	収穫本数 (本/a)	一本重 (g)	
宮城園試	菜々みどり	4.17～4.26	12.8	71	357	35.4	3.5
	かぶれ菜	4.21～4.27	18.1	100	437	41.3	3.0
	カミキタナタネ	4.15～4.24	16.3	91	400	40.5	2.3
	はるの輝	4.15～4.23	18.8	104	427	44.1	3.8
岩手農研セ	菜々みどり	4.26～5.6	156.7	139	6,521	24.0	3.1
	かぶれ菜	4.29～5.8	112.8	100	6,455	17.5	3.0
	カミキタナタネ	4.26～5.3	146.6	130	6,073	24.2	3.2
	はるの輝	4.26～5.5	125.4	111	5,783	21.9	3.6

注. ‘かぶれ菜’の評点を3.0(標準)として評価。

ぶれ菜」より39%、「カミキタナタネ」よりも8%少なく、一本重も両品種に比べて5g以上軽い。しかし、岩手県農業研究センターでは「かぶれ菜」より39%、「カミキタナタネ」よりも7%重く、一本重は「かぶれ菜」よりも6g重い。食味の総合評価については、「かぶれ菜」、「カミキタナタネ」並か、やや優れる。

以上の結果及び育成地と青森県の成績から、「菜々みどり」の栽培適応地帯は長期積雪地帯を除く寒冷地と考えられる。また、なばな用としては耐寒雪性に優れるので寒冷地における冬作の露地栽培が可能である。

## 2. 栽培上の注意

油糧用として栽培する場合には、「菜々みどり」は無エルシン酸品種であることから、その品質が保証された種子を使用することが重要である。そこで、交雑によるエルシン酸汚染を避けるために、開花時期にはエルシン酸含量が高いナタネ品種あるいはナタネと交雑可能なアブラナ科植物との混植・隣接栽培を避ける必要がある。また、過度の密植、多肥栽培は倒伏や菌核病の発生を招く恐れがあるので避ける。

本品種は耐寒雪性に優れた中晩生種ではあるが、子実またはなばな収量を高めるためには越冬前の生育量を充分確保する必要があり、適期播種を励行する。また、根こぶ病に対する抵抗性がないので、連作や発生地での栽培は避ける。

## 命名の由来

「菜々」は「なたね油用」と「なばな用」の両方に利用可能な愛らしい菜の花を意味し、「みどり」は寒さの厳しい地域における春一番の息吹をイメージして、本品種の普及を願い命名した。

## 考 察

### 1. 期待される成果

「カミキタナタネ（なたね農林45号）」以前に育成された日本のナタネ（西洋ナタネ；*Brassica napus*）品種にはエルシン酸が45%程度含まれている（遠藤 1986）。しかし、搾油後のナタネ油に含まれるエルシン酸を大量に摂取すると人体に悪影響を及ぼす可能性が指摘されたことから（金田 1980）、東北農業研究センター（東北農業試験場）では無エルシン酸ナタネ品種の育成に精力的に取り

組んでおり、これまでに4品種を育成している（石田 2003）。ナタネ主産地の青森県では、この無エルシン酸品種の導入にいち早く取り組み、1990年にはわが国初の無エルシン酸品種「キザキノナタネ」を奨励品種として採用するとともに（奥山ら 1994）、品種の一本化を図り、収穫した子実のエルシン酸含量を徹底してチェックすることで、無エルシン酸化を図っている。

ナタネは部分他殖性の作物であり、虫媒や風媒によって10～30%の自然交雑が生じることが知られている（志賀 1971）。柳野ら（1999）は、1998年に青森県内で生産されたキザキノナタネ子実を生産者ごとに採取し、そのエルシン酸含量を測定したところ、50サンプルのうち、47サンプルにエルシン酸が混入していることを報告した。この原因として、以前栽培されていた「カミキタナタネ」や「トワダナタネ」の落ち種に由来する雑草が、「キザキノナタネ」が導入されて8年経過した時点でも繁茂し、それとの自然交雑によるものと推察している。エルシン酸含量は相加的に働く2対の同義遺伝子（ $E_1E_1E_2E_2$ ）によって支配され、 $E_1$ 、 $E_2$  遺伝子の1つで10～12%のエルシン酸含量に貢献している（李ら 1974）。このため、無エルシン酸品種（ $e_1e_1e_2e_2$ ）においても $E_1$ 、または $E_2$  遺伝子を有する個体と交雑することで、次世代ではエルシン酸含量が高まってしまう。このように、無エルシン酸品種におけるエルシン酸汚染は非常に容易なことから、開花時期にはエルシン酸含量が高いナタネ品種との混植や隣接を避けて栽培することが重要である。

一方、同県下北地方の一地域では、なたね油用の「カミキタナタネ」がなばな用として栽培されており、消雪後の抽苔始期に地際から株ごと一斉収穫して調製・袋詰めし、主に首都圏へ出荷している。しかし、「カミキタナタネ」はエルシン酸を多く含む品種であることから、同地方を中心に栽培されている「キザキノナタネ」との自然交雑による子実へのエルシン酸汚染が懸念されていた。このため、越冬性に優れ、野菜としても利用できる無エルシン酸ナタネ品種の育成が望まれていた。

今回育成した「菜々みどり」は、なばなとしても利用可能な無エルシン酸ナタネ品種である。このことから、「菜々みどり」をなばな用品種として導入することで、「キザキノナタネ」と隣接した圃場においても安心して栽培することができ、エルシン酸



## 東北地域の飼料イネ向け品種・系統の直播適性および乾物生産性

吉永 悟志\*<sup>1)</sup>・長田 健二\*<sup>1)</sup>・福田あかり\*<sup>1)</sup>

**抄 録**：東北地域における飼料イネ直播栽培の確立に必要な基礎データを得るために、飼料イネ向け品種・系統の直播栽培適性の評価および東北地域の直播栽培で高い乾物生産性を発揮するための生育特性について検討した。その結果、出芽については顕著な品種間差は認められなかったが、各品種ともカルパー被覆後の加温処理により苗立ちの安定化が図られた。また、乾物および玄米収量に関しては、移植栽培と比較して直播栽培では黄熟期の乾物収量および玄米収量は低かったが、生育期間の確保が可能な晩生品種が乾物生産の増大に有利であることが確認された。さらに、直播栽培において乾物生産を高める形質として、出穂期までに高い葉面積を確保するとともに、登熟期の葉面積を高く維持することや、葉身が厚く、葉身窒素含有率も高いこと、および吸光係数が低く受光態勢に優れることなどの特性を有することが重要であると考えられた。飼料イネ向け新品種の「べこあおば」や着粒突然変異系統のRM645はこれらの形質や耐倒伏性の安定性の点で飼料イネの直播栽培に有利な特性を示した。

**キーワード**：黄熟期，乾物生産，出芽，飼料イネ，耐倒伏性，直播，東北

**Characteristics of Seedling Emergence and Dry Matter Production of Direct-seeded Rice Cultivars for Whole-crop Silage in Tohoku Region** : Satoshi YOSHINAGA \*<sup>1)</sup>, Kenji NAGATA \*<sup>1)</sup> and Akari FUKUDA \*<sup>1)</sup>

**Abstract** : We examined the seedling emergence and the characteristics of dry matter production in direct-seeded rice for whole-crop silage (RWCS) in the Tohoku region in order to obtain available data for establishment of the cultivation. It was shown that using seeds stored at 20 °C for 3 days after they were coated with an oxygen supplier was effective for uniform emergence and a higher emergence rate in the tested cultivars. Dry matter production at yellow-ripe stage and grain yield of the direct-seeded RWCS were lower than those of transplanted RWCS. In direct-seeding, greater dry matter production was obtained in cultivars that showed longer growth period, larger leaf area during ripening period, and lower specific leaf area, which results in high leaf-blade nitrogen content and a lower extinction coefficient. The newly developed RWCS cultivar “Bekoaoaba” and the spikelet-decreased mutant “RM645” were considered more suitable for direct-seeding cultivation, because they showed higher lodging resistance in addition to these desirable characteristics in dry matter production.

**Key Words** : Direct-seeding, Dry matter production, Lodging resistance, Rice cultivar for whole-crop silage, Seedling emergence, Tohoku region, Yellow-ripe stage

### 緒 言

我が国におけるホールクロップサイレージ用水稲（以下、飼料イネ）の安定栽培技術の確立および普及は、水稲の生産調整が増大するなかで水田農業を維持することや、先進国の中でも特段に低い我が国の食糧自給率向上を達成するために極めて重要であ

る。これに対応して、近年、飼料イネ品種の育成、栽培・収穫技術確立や給与技術確立のための研究が精力的に行われるとともに、飼料イネ生産も徐々に増加しつつあり、研究の進展と技術の普及が期待されているところである。

ホールクロップ利用を前提とした飼料イネが備えるべき生育特性は、一般食用水稲の場合とは異なる

\* 1) 東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Daisen, Akita 014-0102, Japan)

2005年12月1日受付, 2006年2月9日受理

点が多い。この点を整理すると、まず飼料イネでは子実のみならず茎葉を含めた植物体全体の乾物収量が高いことが必要になるとともに、飼料の質の確保のためには可消化養分総量(TDN)が高いことも重要な条件となる。また、飼料イネ栽培では収穫期の倒伏は、収穫時における土壌の混入や植物体の高水分条件などによりサイレージ品質の低下につながる場合が多い。特に、飼料イネでは乾物収量の増大のために一定の多肥栽培が必要とされることなどから、耐倒伏性が高い品種の利用や耐倒伏性を高めるための栽培法の重要性が高い。さらに、他の飼料作物との生産コストの差を小さくするために、飼料イネ栽培は省力・低コスト化が必須であり、直播栽培や疎植栽培などの省力・低コスト栽培において高い乾物収量を得ることが重要となってくる。この他、省力・低コストのみならず飼料としての安全性とも関連する特性として、耐病、耐虫性が高い品種特性も飼料イネ適性としてあげられる。

一方、東北地域のような寒冷地における飼料イネの導入においては、水稻の生育に適する気温が確保される期間が短いために作付けおよび収穫時期の制約があり、乾物生産の確保の点では不利な条件といえる。このため、東北地域における飼料イネの直播栽培については、限られた生育期間の中で高い乾物収量を得ること、移植栽培と比較して耐倒伏性の低下しやすい直播栽培においても多肥栽培条件で高い耐倒伏性を示すことなどが重要となる。しかしながら、東北地域における飼料イネの直播栽培に関する研究事例は少なく、データの蓄積が必要となっている。

以上のような背景をもとに、本報告では東北地域における飼料イネ直播栽培の確立に必要な基礎データを得るために、飼料イネ向け品種・系統の直播栽培適性の評価および東北地域の直播栽培で高い乾物生産性を発揮するための生育特性について検討した。なお、ホーククロップサイレージ用の飼料イネでは、上述のように黄熟期の乾物収量やTDN収量が最も重要な形質となるが、玄米収量やその構成要素についても、飼料の消化性や品種の識別性に関わる重要な形質であり、本報告では玄米収量に関する検討も合わせて行った。

本試験は、農林水産省の委託研究プロジェクト「ブランドニッポン3系(飼料イネ)」への参画のもとに実施したものである。

なお、供試品種の「RM645」は独立行政法人農業生物資源研究所放射線育種場より分譲いただいた。また、独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構畜産草地研究所飼料調製研究室より黄熟期サンプルの近赤外分光光度計によるTDN分析データを提供いただいた。記して関係各位に感謝の意を表す。

## 材料と方法

### 1. 出芽試験

供試品種として、早晩性や草型が異なる「ふくひびき」、「べこあおば」、「RM645」の3品種・系統を用いた。「ふくひびき」は東北農業試験場(現東北農業研究センター)において育成され、1995年に品種登録された多収品種であり、飼料イネとして秋田県などの一部で作付けされている。「べこあおば」(中込ら 2005)は東北農業研究センターにおいて飼料イネ専用品種として育成され(旧系統名:奥羽飼 387号)、2005年9月に命名登録(水稻農林 408号)された。一方、「RM645」は農業生物資源研究所放射線育種場において農林8号の放射線突然変異系統として作出されたもので、原品種と比較して1穂粒数が6割程度しか着生しない特性を有し、稈・葉鞘へのデンプン蓄積量が多いため、飼料イネの消化性向上に有効となる可能性が示唆されている(吉永ら 2005)。出芽試験はこれら品種・系統の2002年産種子を用いて2003年に実施した。

乾物の2倍重相当の酸素供給剤(過酸化石灰含有資材、商品名:カルパー粉粒剤 16)を被覆したハト胸催芽初(以下、カルパー被覆種子と略記)をビニール袋に密封し、10および20℃の恒温器中にそれぞれ3日間貯蔵した後、以下の出芽試験に供した。水田土壌(灰色低地土)と水を約3:1の割合で混合した代かき土壌を入れたコンテナ(内寸:長さ320mm,幅240mm,深さ120mm)を数時間静置し、その後コンテナ底部に挿入した排水管から12時間程度落水し、土壌表面に被覆種子を播種後、落水時の覆土深が10mmになるように代かき土壌を覆土した。1区当たりの播種量は50粒、3反復とし、1コンテナ当たり3区を設定した。このとき、覆土後は落水状態のまま20℃の恒温室に設置し、播種後14日目まで経時的に出芽調査を行い、最終出芽率および平均出芽日数を算出した。

### 2. 圃場試験

2002~2004年の3か年にわたって、東北農業研

究センター水田利用部（秋田県大仙市）内の灰色低地水田において行った。

出芽試験に用いた3品種の湛水直播栽培を同一圃場で行うとともに、「ふくひびき」の移植栽培を近接圃場で実施した。直播栽培における播種時期は、2002年は5月15日、2003および2004年は5月12日、カルパー被覆種子を用いて「打込み式代かき同時土中点播機」（下坪ら 1996）による湛水直播栽培を行った。播種様式は条間30 cm、株間20 cm（16.7株/m<sup>2</sup>）、目標播種深度10 mmで、播種量は乾粒相当で約4 g/m<sup>2</sup>として、播種後は出芽まで落水管理とした。出芽揃い後入水し、除草剤（イマズスルフロン・エトベンザニド・ダイムロン粒剤）を散布した。出芽後は生育および収量調査地点の出芽苗を1株当たり5～6本（苗立ち密度80～100本/m<sup>2</sup>）になるよう密度補正を行った。移植栽培では2002および2003年は5月15日、2004年は5月14日に中苗を条間30 cm、株間15 cm（22.2株/m<sup>2</sup>）、1株3本で手植えた。

施肥は基肥、分けつ肥および穂肥2回の合計4回行い、穂肥は出穂前24日および12日を目処に施用した。それぞれの時期の施用量（施肥4回の窒素成分量：g/m<sup>2</sup>）を2002年は移植栽培では8-2-3-3、直播栽培では6-3-3-3、2003および2004年は両栽培ともに6-4-3-3とした。

なお、直播栽培は1区当たり面積48 m<sup>2</sup>の1区制、移植栽培は1区15 m<sup>2</sup>3反復で実施し、直播栽培では区内の3地点の調査データを用いて統計解析を行った。

### 3. 生育特性および乾物・玄米収量の調査方法

生育および乾物収量の調査は、穂揃い期および黄熟期に1区当たり15～16株を抜き取って実施した。なお、抜き取りは株の基部を含めて行っている。抜き取り株は部位別に分解し、葉面積の測定を行い、80℃で48時間乾燥後、乾物重、窒素含有率を測定した。窒素分析は乾式燃焼法（エレメンタル社 vario MAX）により行った。稈・葉鞘中の非構造性炭水化物（以下、NSCと略）の含有率は重量法（大西・堀江 1999）により測定し、乾物重を乗じて含有量を求めた。また、黄熟期のTDNは畜産草地研究所における近赤外分析値による推定値（藤田ら 2003）を用いた。また、穂揃い期には晴天時に群落内の高さ別日射量を群落日射計（盟和商事 LI-191SA）を用いて測定するとともに層別（地際

より10 cm間隔）の葉面積を調査し、吸光係数を算出した。なお、黄熟期は出穂後の積算気温が800～850℃を目安として判定した。

玄米収量調査は成熟期に1か所当たり直播栽培では50株（3.0 m<sup>2</sup>）、移植栽培では60株（2.7 m<sup>2</sup>）刈り取り、常法に従って行った。

### 4. 耐倒伏性の調査方法

圃場における倒伏程度は黄熟期に各区の平均的な株の傾きを0（無倒伏）～4（完全倒伏）の5段階で達観で判定した。また、押し倒し抵抗の測定は富樫ら（1997）の方法に準じ、デジタルフォースゲージ（日本電産シンボ社製 FGC-5）を取り付けた架台を回転支点が稲株の地際になるように設置し、稲株の地際15 cmの高さを45°の角度まで押し倒す際にかかる力の極大値を測定した。測定時期は出穂15～20日後とし、移植栽培、直播栽培ともに1区当たり15株測定した。

## 結 果

### 1. 出芽試験

出芽試験の結果を表1に示した。カルパー被覆後低温貯蔵した種子を用いた標準条件での供試品種の出芽率には有意差が認められなかったものの、「ふくひびき」と比較して「べこあおば」および「RM645」の出芽率が低い傾向を示した。一方、20℃3日間の加温処理を行った場合には、3品種とも約80%の出芽率を示すと同時に、標準条件と比較して平均出芽日数が1日以上短縮された（表1）。

表1 出芽性の品種間差

品種・系統	貯蔵条件	出芽率 %	平均出芽 日数
ふくひびき	標準	81.2	6.0
	加温	80.4	4.9
べこあおば	標準	72.5	5.6
	加温	79.7	4.5
RM645	標準	74.6	6.1
	加温	82.6	4.5
品 種		ns	*
貯蔵条件		ns	**
貯蔵条件*品種		ns	ns

貯蔵条件：標準は低温（10℃）貯蔵、加温は3日間20℃。\*\*：1%水準で有意、\*：5%水準で有意、ns：有意差無し。

2. 乾物収量  
穂揃い期および黄熟期の乾物生産については表2  
および表3に、各品種の出穂期、黄熟期および登熟  
期の気象条件を表6にそれぞれ示した。気象条件は、

2002年は8月下旬以降の多照、2003年は7～8月  
の低温および寡照、2004年は8月上旬までの高温  
が特徴的であり、各年次とも傾向が異なった。  
「ふくひびき」の移植栽培と直播栽培を比較する

表2 供試品種・系統の穂揃い期の乾物生産関連形質

品種・系統	栽培法	年次	乾物重 g/m <sup>2</sup>	NSC	葉身窒素	葉面積	比葉面積 cm <sup>2</sup> /g	吸光係数
				含有量 g/m <sup>2</sup>	含有率 %	指数		
ふくひびき	移植	2002	903	179	3.2	5.6	238	0.55
		2003	987	221	2.7	5.9	228	0.51
		2004	873	191	3.0	5.1	228	—
		平均	921 b	197 c	3.0 a	5.6 a	231 b	0.53 a
ふくひびき	直播	2002	874	161	2.9	5.9	258	0.49
		2003	937	228	2.5	4.9	231	0.52
		2004	793	209	2.7	4.2	237	—
		平均	868 b	199 c	2.7 b	5.0 ab	242 a	0.51 ab
べこあおば	直播	2002	1013	255	2.7	5.4	222	0.37
		2003	905	244	2.5	4.0	220	0.45
		2004	971	328	2.4	4.9	233	—
		平均	963 b	276 b	2.6 b	4.8 b	225 b	0.41 c
RM645	直播	2002	1298	357	2.1	5.9	182	0.49
		2003	1145	303	2.3	4.9	183	0.48
		2004	1227	368	2.1	5.1	176	—
		平均	1223 a	343 a	2.1 c	5.3 ab	180 c	0.49 b

NSC：稈・葉鞘中の非構造性炭水化物。平均値間で同一記号のついた値間にはLSD 5%水準の有意差がないことを示す(表3～4も同じ)。

表3 供試品種・系統の黄熟期の乾物生産関連形質

品種・系統	栽培法	年次	乾物重 g/m <sup>2</sup>	ΔW	NSC	TDN	TDN	葉身窒素	葉面積	比葉面積 cm <sup>2</sup> /g
				g/m <sup>2</sup>	含有量 g/m <sup>2</sup>	%	g/m <sup>2</sup>	含有率 %	指数	
ふくひびき	移植	2002	1509	606	125	61.2	923	1.9	3.5	231
		2003	1594	607	103	62.5	996	1.5	3.7	223
		2004	1505	633	—	61.3	922	1.6	3.1	222
		平均	1536 b	615 a	114 c	61.6 a	947 a	1.7 a	3.4 b	225 a
ふくひびき	直播	2002	1537	663	143	60.6	931	1.5	3.4	228
		2003	1403	466	110	63.4	890	1.4	2.4	216
		2004	1234	441	—	60.9	752	1.9	2.6	230
		平均	1391 c	523 ab	126 bc	61.6 a	857 a	1.6 ab	2.8 c	224 a
べこあおば	直播	2002	1562	549	192	62.5	976	1.5	3.3	202
		2003	1428	523	99	63.0	900	1.6	2.2	192
		2004	1423	452	—	61.2	871	1.4	2.7	198
		平均	1471 bc	508 b	145 ab	62.2 a	916 a	1.5 b	2.7 c	197 b
RM645	直播	2002	1807	509	497	59.2	1069	1.3	4.3	153
		2003	1685	540	462	60.1	1013	1.3	3.5	150
		2004	1658	432	—	58.2	965	1.3	3.6	141
		平均	1717 a	494 b	480 a	59.2 b	1016 b	1.3 c	3.8 a	148 c

ΔW：穂揃い期～黄熟期乾物増加量。NSC：稈・葉鞘中の非構造性炭水化物。TDN：可消化養分総量。

表4 供試品種・系統の玄米収量収量構成要素および稈長

品種・系統	年次	粗玄米重		総粒数 ×1000/m <sup>2</sup>	精玄米 千粒重 g	倒伏 程度 0-4	稈長 cm
		g/m <sup>2</sup>	1 穂粒数				
ふくひびき 移植	2002	849	109	40.6	24.5	3.5	88.2
	2003	819	111	46.9	22.2	0.1	79.2
	2004	807	106	35.3	25.2	1.7	82.5
	平均	825 a	109 a	40.9 a	24.0 c	1.8 a	83.3 b
ふくひびき 直播	2002	816	90	35.4	25.3	0.8	84.7
	2003	754	89	36.5	23.4	0.5	77.0
	2004	657	97	32.8	24.6	1.7	75.0
	平均	743 b	92 b	34.9 b	24.4 c	1.0 ab	78.9 c
べこあおば 直播	2002	829	84	30.9	33.0	0.0	75.5
	2003	703	95	31.9	32.4	0.0	66.1
	2004	742	82	28.9	32.9	0.0	64.9
	平均	758 b	87 c	30.5 c	32.8 a	0.0 c	68.9 d
RM645 直播	2002	344	47	17.1	27.2	1.5	97.5
	2003	230	41	16.6	25.1	0.0	87.6
	2004	236	41	17.1	25.8	0.0	78.7
	平均	270 c	43 d	16.9 d	26.1 b	0.5 bc	87.9 a

玄米重および千粒重は水分15%換算。

と、穂揃い期、黄熟期ともに直播栽培では地上部乾物重が移植栽培よりも低い傾向が認められ、黄熟期には有意な差を生じた。また、穂揃い期の葉身窒素含有率は移植栽培で高く、葉面積指数も高い傾向が認められたが、吸光係数はほぼ同等であった。黄熟期の稈・葉鞘のNSC含有量は直播栽培で高い傾向を示した。一方、直播栽培の3品種を比較すると、年次によりその程度は異なるものの穂揃い期、黄熟期ともに、地上部乾物重は出穂期の遅いほど、すなわち「RM645」>「べこあおば」>「ふくひびき」の順に高い傾向を示した。黄熟期のTDN含有率の品種間差は小さく、3%程度内の差であったため、黄熟期のTDN収量は乾物収量とほぼ同様の品種間差を示した。黄熟期の乾物重と穂揃い期の乾物重の差である登熟期乾物増加量(ΔW)は、移植栽培の「ふくひびき」で高く600g/m<sup>2</sup>を超えていたが、直播栽培の3品種は平均で500g/m<sup>2</sup>前後であった。葉身の形質については、穂揃い期の葉面積指数の品種間差は小さかったが、「RM645」は穂揃い期の葉身窒素含有率が低いものの比葉面積が顕著に小さく、また、黄熟期のLAIが高く維持されていた。吸光係数については「べこあおば」で顕著に低かった。一方、黄熟期の稈・葉鞘のNSC含有量は「RM645」で顕著に高く、「ふくひびき」の直播栽培と比較す

ると約4倍に達していた。

### 3. 玄米収量および収量構成要素

移植栽培の「ふくひびき」の玄米収量は3か年とも800g/m<sup>2</sup>を超えて、安定して高かった(表4)。これに対し、「ふくひびき」および「べこあおば」の直播栽培では、2002年は「ふくひびき」の移植栽培とほぼ同等の玄米収量を示したものの、2003年および2004年は10~15%程度減収した。一方、「RM645」は粗玄米重の3か年平均値は300g/m<sup>2</sup>を下回り、顕著に低い収量性を示した。各品種の収量構成要素の特徴は以下のように整理される。「ふくひびき」は直播栽培で粒数が減少したものの他品種と比較して粒数が顕著に多いという特性を有する。「べこあおば」は同じ直播栽培の「ふくひびき」と比較すると粒数は少ないものの、千粒重が顕著に大きく30gを超えている。「RM645」では、1穂粒数が40~50粒と他品種の半分程度の水準であり、総粒数の減少により玄米収量が顕著に低下した。

### 4. 耐倒伏性

耐倒伏性関連形質として、稈長および倒伏程度は表4、押し倒し抵抗値は表5に示した。栽培法間では、「ふくひびき」の稈長は移植栽培と比較して直播栽培で短くなる傾向が認められた。品種間では「べこあおば」の稈長が顕著に短く、「RM645」の



表5 有望品種・系統の押し倒し抵抗値

品種・系統	栽培法	押し倒し抵抗値 g/程	
		2002	2003
ふくひびき	移植	66.5 c	70.2 b
ふくひびき	直播	71.2 c	69.2 b
べこあおば	直播	106.6 a	101.2 a
RM645	直播	91.9 b	110.3 a

同一年次で同一記号のついた値間には LSD 5% 水準の有意差がないことを示す。

稈長が長いという特性を示した。倒伏程度は「ふくひびき」において移植栽培、直播栽培ともに年次によっては1.0以上の倒伏程度を示した場合があったが、「べこあおば」では3か年、「RM645」では2か年で無倒伏であった。これらの品種は、「ふくひびき」の移植および直播栽培と比較して有意に押し倒し抵抗値も高く、「ふくひびき」が70g前後の値を示したのに対し、90g以上の値を示した。

## 考 察

本報告では、東北地域の飼料イネ向け品種を用いて、寒冷地の直播条件における乾物生産性や玄米収量について調査するとともに直播栽培で重要となる出芽性、耐倒伏性について検討を行った。

### 1. 出芽性

3品種の出芽検定試験の結果から、催芽種子へのカルパー被覆および播種後落水管理の条件であれば、出芽性の問題は特段生じないことが示唆されたものの、「べこあおば」および「RM645」は「ふくひびき」と比較して出芽率が低下する傾向が認められた。一方、各品種とも標準条件（カルパー被覆後低温貯蔵）と比較して、被覆種子の加温処理により出芽速度や出芽率が向上した。このような処理は、普通品種において既に検討されて有効性が確認されているが（花見・手代木 1998, 吉永ら 2000）、飼料イネ栽培の安定化に対しても、出芽・苗立ちの安定化に有効であると推察された。また、出芽速度の向上による播種後の落水期間の短縮により、除草剤散布時期が早まり、除草効果の向上につながることから、除草剤散布が制約される飼料イネ栽培では本技術の導入が有効であると考えられる。

なお、「べこあおば」については千粒重が30gを超える大粒品種であるため、播種粒数の確保のためには一般品種よりも播種重量を増やす必要がある。

このため、播種機によっては播種粒数の確保が困難となることが考えられ、注意が必要である。

### 2. 乾物生産および玄米収量の栽培法間差

「ふくひびき」の黄熟期の乾物重は、移植栽培と比較して直播栽培で減少したが、穂揃い期には約50g/m<sup>2</sup>であった乾物重の栽培法間差が黄熟期には約150g/m<sup>2</sup>に拡大していることから、両区の乾物生産の差は登熟期間中の乾物生産の差が主要因と考えられる。そこで、登熟期の気象条件を表6にとりまとめた。この表から、移植栽培と比較して直播栽培で出穂期が5日遅くなったものの登熟期（出穂～黄熟期）の日射量や気温については顕著な差は認められていない。このため、登熟期の乾物生産の差の要因は、直播栽培による出穂の遅れではなく、登熟期の乾物生産能の差によるものと推察される。この点については、移植栽培の方が穂揃い期および黄熟期の葉面積が高く維持されるとともに同時期の葉身窒素含有率も高いことから、移植栽培において登熟期の乾物生産能が高くなっていることが考えられる。

「ふくひびき」における玄米収量の栽培法間差は1穂初数の多少によるシンクサイズの違いによるものであった。直播栽培において1穂初数が少なかった要因としては出穂期までの1穂当たりの生育量が直播栽培で低かったことが考えられる。

### 3. 「べこあおば」の飼料イネとしての適性

直播栽培の「べこあおば」の黄熟期の乾物収量は、移植栽培の「ふくひびき」には及ばないものの直播栽培の「ふくひびき」の乾物収量と比較して平均で6%程度高まった。乾物増加を穂揃い期までと登熟期（穂揃い期から黄熟期）に分けて比較すると、登熟期の乾物増加量の差は小さいため、穂揃い期までの乾物生産の差が黄熟期の乾物収量の差の要因となっていることが分かる。「べこあおば」の出穂期は直播栽培の「ふくひびき」と比較して平均で8日程度遅いため（表6）、「べこあおば」では出穂までの生育期間が長いことが、穂揃い期の乾物重の差の主要因と考えられる。出穂期以降の気象条件を比較すると、出穂が遅い「べこあおば」では登熟期の日射量の減少とともに気温の低下が認められる（表6）。長田ら（2004）は、「べこあおば」が日射乾物変換効率の高いことを示しているが、本試験においても、「べこあおば」は、比葉面積が小さく（葉身が厚い）、穂揃い期の吸光係数も低い（群落内部まで光が透過する）という乾物生産に有利な草型を示したことか

表6 各試験年次の出穂期、黄熟期および登熟期の気象条件

品種・系統	栽培法	年次	出穂期 月. 日	黄熟期 月. 日	登熟期	
					平均気温 ℃	平均日射量 MJ/m <sup>2</sup> /日
ふくひびき	移植	2002	8.07	9.10	23.3	15.7
		2003	8.07	9.12	21.9	12.9
		2004	8.04	9.08	22.7	16.3
		平均	8.06	9.10	22.6	15.0
ふくひびき	直播	2002	8.12	9.17	22.0	16.2
		2003	8.12	9.18	21.5	13.6
		2004	8.09	9.14	21.7	15.8
		平均	8.11	9.16	21.7	15.2
べこあおば	直播	2002	8.23	10.01	20.2	16.3
		2003	8.20	9.28	20.3	12.6
		2004	8.16	9.23	21.0	14.1
		平均	8.20	9.27	20.5	14.4
RM645	直播	2002	9.06	10.24	16.4	12.8
		2003	9.07	10.30	14.9	11.7
		2004	9.08	10.26	16.4	10.4
		平均	9.07	10.27	15.9	11.6

登熟期：出穂期～黄熟期。気温は大曲アメダスデータ，日射量は秋田アメダスデータ。

ら、出穂の遅れにともない日射量が減少した条件となっても一定の乾物生産の確保が可能であったものと推察される。

一方、玄米収量についてみると直播栽培では「ふくひびき」と「べこあおば」の玄米収量はほぼ同等であった。「べこあおば」はシンクサイズの点では「ふくひびき」を上回るものの大粒であるために登熟歩合が低下しやすく、「ふくひびき」との玄米収量に差を生じなかったものと考えられる。

また、飼料イネ栽培で重要な形質となる耐倒伏性については、供試品種中の押し倒し抵抗値は最も高い値を示すとともに、登熟期に台風による強風の影響を受けた2004年度を含めて圃場での倒伏程度は0（無倒伏）であった。直播栽培における耐倒伏性については播種様式の影響を受ける（吉永ら 2001）ことから、耐倒伏性の低下する散播栽培等での検討も必要であるが、「べこあおば」は直播栽培においても非常に高い耐倒伏性を示し、飼料イネ栽培の安定化に有効であるものと考えられる。

#### 4. 「RM645」の乾物生産特性および乾物・玄米収量

直播栽培の「RM645」の黄熟期の乾物収量は、移植栽培の「ふくひびき」と比較しても顕著に高く、

直播栽培の「ふくひびき」の乾物収量と比較すると平均で20%以上高まった。乾物増加を時期別に比較すると、登熟期の乾物増加量は直播栽培の「ふくひびき」と比較して差が小さく、「べこあおば」の場合と同様に、穂揃い期までの乾物生産の差が黄熟期の乾物収量の差の要因となっている。特に「RM645」の出穂期は「べこあおば」よりもさらに遅く、直播栽培の「ふくひびき」と比較して平均で30日近い差を生じている（表6）。このように、「RM645」では出穂までの生育期間が長いことが、穂揃い期の乾物重が高まった主要因と考えられる。一方、出穂期以降の気象条件を比較すると、出穂が遅い「RM645」では登熟期の日射量の減少や気温の低下が顕著となっている（表6）ものの、「ふくひびき」の直播栽培とほぼ同等の登熟期の乾物増加を示している。突然変異系統である「RM645」はその親品種の農林8号と比較しても乾物生産に優れることが示されているが（吉永ら 2005）、本試験においても、比葉面積が「べこあおば」以上に小さく、また、登熟期の葉面積が高く維持されるなど乾物生産に有利な特性が示されており、これらの特性も乾物生産の向上要因となっていると考えられる。

玄米収量については、糊数が極端に少ないために

収量性は低いものとなっている。また、これに対応して稈・葉鞘中の NSC 含有率が顕著に高まり、500 g/m<sup>2</sup>近い NSC が蓄積した。飼料イネの消化性について、サイレージにした場合でも籾の乾物消化率が低いことが示唆されている(箭原ら 1981, 加藤ら 2004)。このため、「RM645」のように籾への乾物分配率が低く、茎葉にデンプンを蓄積する特性は、消化性向上の点で有効となると推察される。さらに、籾への乾物分配が低いことは登熟期の株の重心を低くするために耐倒伏性の向上に有効となる。本試験においても「RM645」の稈長は平均で 90 cm 近い値を示したにもかかわらず、軽度の倒伏を生じたのみであった。

なお、「RM645」の出穂期を考慮すると同系統を東北地域で栽培する場合には収穫時期が遅くなりすぎることや、耐病性などの特性を高めるために、同系統が中間母本として利用されている。

## 5.まとめ

東北地域の飼料イネ向け品種・系統の直播栽培適性および乾物生産性について検討した。その結果、出芽については、「べこあおば」および「RM645」は「ふくひびき」と比較して出芽率が低下する傾向が認められたが、カルパー被覆後の加温処理により苗立ちの安定化が図られることが示された。また、乾物および玄米収量に関しては、移植栽培と比較して直播栽培では黄熟期の乾物収量および成熟期の玄米収量が低かった。直播栽培においては生育期間の確保が可能な晩生品種で乾物生産の増大に有利であることが確認されたものの、ホールクロップサイレージ用飼料イネの収穫は一般品種の収穫前に実施されるとが多いため、晩生品種導入の場合には黄熟期以前に刈り取る予乾体系の検討も必要であると考えられる。また、移植栽培と比較して出穂期の遅れる直播栽培では、乾物生産を高める形質として、①出穂期までに高い葉面積を確保するとともに、②登熟期の葉面積を高く維持することや、③葉身の形質として比葉面積が低く窒素含有量が高いこと、④受光態勢として吸光係数が低いことなどの特性を有することが特に重要になると考えられ、本試験で供試した「べこあおば」や「RM645」の有効性が示唆された。なお、これらの形質は品種特性としてある程度決定されているものの、施肥法や播種様式により一定の制御が可能である。また、多肥条件では品種の早晩性による乾物重の差が小さくなることや(石川・井

尻 2002)、NSC 含有量が施肥条件により変動すること(山口・松村 2002)などが報告されており、飼料イネの直播栽培における安定多収のための施肥法について検討を進めることが重要であろう。

## 引用文献

- 1) 藤田泰仁, 村井勝, 蔡義民, 甘利雅弘, 小川増弘. 2003. 近赤外分析法による飼料イネの飼料成分および栄養価の推定. 畜産草地研究成果情報 2: 49-50.
- 2) 花見厚, 手代木昌宏. 1998. 水稲湛水直播栽培における酸素供給剤被覆種子の加温による出芽促進. 東北農業研究 51: 69-70.
- 3) 石川哲也, 井尻勉. 2002. ホールクロップサイレージ用稲の多肥条件における生育と乾物生産. 日作紀 71(別1): 20-21.
- 4) 加藤恒雄, 城田圭子, 新出昭吾, 番匠宏行. 2004. 発酵粗飼料としての稲籾の消化率に及ぼす割れ粘性の効果. 日作紀 73(別1): 108-109.
- 5) 長田健二, 寺島一男, 吉永悟志, 福田あかり. 2004. 東北地域向け飼料用水稲育成品種・系統の生育および収量特性. 日作東北支報 47: 87-89.
- 6) 中込弘二, 山口誠之, 片岡知守, 遠藤貴司, 滝田 正, 東正昭, 横上晴郁, 加藤 浩, 田村泰章. 2005. 直播栽培に適する稲発酵粗飼料専用新品種「べこあおば」の育成. 東北農業研究 58: 3-4.
- 7) 大西政夫, 堀江武. 1999. 重量法による水稲各機関中の非構造化炭水化物の簡易定量法. 日作紀 68: 123-136.
- 8) 下坪訓次, 富樫辰志. 1996. 水稲の代かき同時土中直播栽培に関する研究 1. 点播直播について. 日作紀 65(別1): 12-13.
- 9) 富樫辰志, 吉永悟志, 下坪訓次. 1997. 土中点播水稲の押倒し抵抗簡易測定法. 日作九支報 63: 7-9.
- 10) 箭原信男, 高井慎二, 沼川武雄. 1981. 水稲ホールクロップサイレージの調整利用に関する研究. 東北農試研報 63: 151-159.
- 11) 山口弘道, 松村修. 2002. 飼料イネ向け特性としての登熟後期非構造化炭水化物再蓄積の施肥

- による変動. 日作紀 71(別1) : 18-19.
- 12) 吉永悟志, 脇本賢三, 富樫辰志, 田坂幸平.  
2000. 土中出芽性向上のための酸素供給剤被覆  
水稲種子の乾燥および貯蔵条件. 日作紀 69 : 146-  
152.
  - 13) 吉永悟志, 脇本賢三, 田坂幸平, 松島憲一, 富  
樫辰志, 下坪訓次. 2001. 打込み式代かき同時  
土中点播栽培による湛水直播水稲の耐倒伏性向  
上 - 播種様式および苗立ち密度が耐倒伏性に  
及ぼす影響 -. 日作紀 70 : 186-193.
  - 14) 吉永悟志, 長田健二, 寺島一男, 福田あかり.  
2005. 水稲の着粒突然変異系統「RM645」の  
乾物生産特性. 日作紀 74(別1) : 310-311.



## 日本におけるコムギ縞萎縮ウイルスの病原性の分化と判別条件

大 藤 泰 雄\*<sup>1)</sup>

抄 録：コムギ縞萎縮病は、土壌生息性の原生動物 *Polymyxa graminis* により媒介される土壌伝染性のウイルス病害である。国内の主要なコムギ産地に発生し被害を及ぼしてきた。1990年代には突発的な大発生が各地で認められ、抵抗性品種の罹病化も問題となり、解決が求められた。本病の防除の主体は、耕種的防除技術と抵抗性品種の利用に限られる。しかし、抵抗性品種の育成と利用に必要な情報であるコムギ縞萎縮病ウイルス (WYMV) の病原型とその分布、各病原型に対する抵抗性遺伝資源は示されていなかった。本研究は、コムギ縞萎縮病に対する抵抗性品種の育成と利用に資するために、① WYMV における病原性分化の確認、② 抵抗性の接種検定に適した温度条件の設定、③ 判別品種の設定と病原型の類別、④ 各病原型の日本国内の発生状況の解明、の4点について研究を行った。その結果、WYMV-T 株と WYMV-M 株の二つのウイルス株の病原性が異なることを同一条件下での比較により示すことで、WYMV における病原性の分化を証明した。次いで、いくつかの品種では温度により抵抗性の程度が異なり、抵抗性の評価には、5℃が適することを明らかにした。この温度条件下で、WYMV-T 株と WYMV-M 株を区別できる品種「ナンブコムギ」、「フクホコムギ」と「北海 240 号」を判別品種として設定し、これら判別品種に対する病原性の違いにより国内主要産地から採取した WYMV 株を、「ナンブコムギ」、「フクホコムギ」をおかし「北海 240 号」をおかさない I 型と、「ナンブコムギ」のみをおかす II 型、および、すべての判別品種をおかす III 型の三つに類別した。さらに、宮城県以南では I 型が優占し、岩手県以北は II 型が優占することを明らかにした。宮城県以南では、かつて栽培された品種が II 型に抵抗性であったため、この地域では I 型が優占するに至ったことが示唆された。

キーワード：コムギ縞萎縮病、抵抗性、WYMV、病原型、判別品種

### Studies on the Pathotypes of Japanese Isolates of *Wheat Yellow Mosaic Virus* and Their Distribution in Japan : Yasuo OHTO \*<sup>1)</sup>

**Abstract** : Wheat yellow mosaic is a soil-borne virus disease caused by *Wheat yellow mosaic virus* that is transmitted by a soil inhabitant *Polymyxa graminis*. Outbreaks of this disease occurred in 1990's in some wheat production area. The breakdown of resistance also occurred and the disease has become an obstacle to increased wheat production in Japan. The countermeasure to this disease restricted to the changes in cultural practices by themselves and the use of resistant cultivars. However, the information about the distribution of WYMV strains with different pathogenicity and the relationship between WYMV strains and resistance of wheat cultivars to the virus had been unclear. These information are essential for the breeding program of resistant cultivars.

This study was conducted to contribute to the development of resistant cultivars to control wheat yellow mosaic disease. For this purpose, the existence of WYMV strains with different pathogenicity to wheat cultivars was confirmed in two WYMV isolates (WYMV-T and WYMV-M). Then, it was demonstrated that the resistant reactions of some wheat cultivars to these WYMV isolates varied under different temperature conditions, and high inoculation efficiency was constantly provided when wheat plants were grown at 5°C after inoculated with WYMV. Under this temperature condition, three cultivars, 'Nanbukomugi', 'Fukuhokomugi' and 'Hokkai 240', were selected as the differential cultivars based on the reaction of these wheat cultivars against two Japanese virus isolates of WYMV (WYMV-M and WYMV-T, respectively). 'Nanbukomugi' is susceptible to both WYMV-M and WYMV-T. 'Fukuhokomugi' is susceptible to WYMV-T and resistant to WYMV-M. 'Hokkai 240' is resistant to both isolates. WYMV isolated from wheat-cultivated fields in Japan, and the virus-infested experimental fields for wheat breeding programs were grouped into three pathotypes based on the

\* 1) 東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Morioka, Iwate 020-0198, Japan) 2005年12月28日受付, 2006年2月9日受理

infectivity on the differential cultivars: type I, represented by WYMV-T and mainly distributed in west and central part of Japan, infects 'Fukuhokomugi' and 'Nanbukomugi'; type II, represented by WYMV-M and mainly distributed in northern part of Japan, infects 'Nanbukomugi'; and type III, distributed in a field of west part of Japan, infects all three differential cultivars. It was suggested that because all wheat cultivars which had been cropped in south of Miyagi prefecture in the past showed resistance to type II, type I or III are dominant in this area.

**Key Words**: Wheat yellow mosaic disease, Resistance, WYMV, Virus strains with different pathogenicity, Differential cultivar

## 目次

I 緒言	74	IV 日本国内の WYMV の病原型の発生実態	87
II WYMV の病原性分化の確認と検定条件の確立	75	V 総合考察	89
III WYMV の病原性を類別する判別品種の検索	80	VI 摘要	92
		引用文献	93
		Summary	95

## 緒言

コムギ縞萎縮病は秋播きコムギに発生する土壤伝染性のウイルス病害である。病原のコムギ縞萎縮ウイルス (*Wheat yellow mosaic virus*, 以下「WYMV」という。) は、土壤中の原生生物 *Polymyxa graminis* Ledingham により媒介される。

コムギ縞萎縮病は、大正年間に我が国で初めて発生が報告された。その後、昭和初期には我が国の麦作振興に伴い全国各地で本病の発生が報告された。麦作の衰退とともに一時発生が少なくなったが、抵抗性品種の罹病化が進み、水田転換畑での麦作が増加した東北地方や中部地域で大規模に発生が認められるようになり、1990年代にはコムギの一大産地である北海道で発生が確認されるなど、その対策が望まれた。

コムギ縞萎縮病の防除法として古くから抵抗性品種が注目されている(沢田 1927, 和田・深野 1935a, 1935c, 1937, 石川ら 1935, 三宅 1938, 鑄方・河合 1940, 斉藤・岡本 1964, 千葉ら 1987)。これまで抵抗性品種はそれぞれの育種場所において縞萎縮ウイルスに汚染された特性検定圃場の自然発病下で主に外観病徴に基づいて選抜されている。ところで、コムギ縞萎縮病の発病には、地域間差や品種間差が認められることが古くから知られており、この原因として WYMV の病原性の分化が指摘され

ている(和田・深野 1936, 鑄方・河合 1940, 三宅 1938, 斉藤・岡本 1964, Kusume *et al.* 1997)。一方で、斉藤・岡本(1964)は、同じ伝染源を用いても、試験を実施した年、場所の違いにより同じ品種であっても抵抗性の程度が異なるとし、何らかの環境要因が抵抗性反応に影響を及ぼしていると報告している。このため、圃場での試験ではウイルスの病原性の違いを明瞭に示すことが困難視された。そのために、これまでに WYMV 分離株間の同一環境条件下での病原性の比較と類別は行われてこなかった。

これまで各育成場所の特性検定圃場での自然発病下で行われてきた遺伝資源の評価や抵抗性品種の選抜には、以下の問題点がある。まず、北海道や東北地域といった寒冷地では、耐寒性の低い遺伝資源の評価は出来ないために、利用できる抵抗性遺伝資源の範囲が制限される。次に、各発生地の WYMV 株と検定圃場の株の病原性の比較が出来ないために、検定圃場の結果が常にそれ以外の一般の生産圃場に適用できるという保証が無い。さらに、発病の年次変動により抵抗性の評価が安定しないため、1, 2年間の圃場試験では検定精度が不十分な場合もある。抵抗性品種として期待された品種が生産圃場で罹病性を示した場合、それが特性検定圃場と生産圃場の間の WYMV の病原性の違いによるのか、検定時の環境条件により抵抗性の検討が不十分であった

のが不明なために、生産現場では混乱する。さらに、短期間の圃場試験で外観上発病を見ない普及品種でも、その根で伝染源が生産されて病原ウイルス密度が増加する可能性がある。このために、気象変動や品種の変更に伴い圃場の汚染実態や品種の罹病性が顕在化することも考えられる。こうした背景の下、それぞれの発生地での抵抗性品種としての有効性を十分に検証できないまま品種が導入されたために、導入直後から縞萎縮病が広範囲に発生するなどの問題が起きている。その対策として、あらかじめ個々の汚染圃場で長期間栽培して、ある抵抗性品種がある地域で有効か否かを予測してから品種として実際に普及に移すことも考えられるが、このような試験は非現実的である。

以上の問題点を踏まえると、栽培地の WYMV の病原性に応じた抵抗性を品種に導入するためには、まず、コムギ品種・系統の抵抗性評価において、品種反応に影響を及ぼす環境要因を明らかにし、安定した評価が得られる検定条件を設定した上で、標準となる方法を確立する必要がある。つぎに、この評価法を用いて、WYMV の病原性を判別品種により病原型として類別し、各発生圃場の WYMV の病原型を明らかにする。さらに、それぞれの病原型に抵抗性を示す判別品種と同じ抵抗性遺伝子あるいは同じ遺伝資源由来の抵抗性を導入した品種を育成する。この手順を経て、初めて、発生地の WYMV の病原性に対応した抵抗性品種の導入が可能になる。

著者らは、以上の抵抗性品種育成への手順をふまえて、①これまで明確に示されなかった WYMV における病原性の分化を確認する、②抵抗性反応に及ぼす環境条件の中で温度条件に注目し、その影響を解明して抵抗性の接種検定に適した温度条件を確定する、③接種検定により判別品種を設定して病原型の類別を行う、④各病原型の日本国内の分布状況を明らかにする、という4点について研究を行った。

本報告をとりまとめるにあたり、北海道大学大学院農学研究科内藤繁男教授には終始懇篤なるご指導を賜った。北海道大学大学院農学研究科上田一郎教授、幸田泰則教授、近藤則夫助教授には、論文の御校閲を賜った。元北海道農業研究センター柏崎哲博士（故人）には、WYMV の標準株、抗血清の分譲、数々の御助言等を賜った。（独）農業・生物系特定産業技術研究機構九州沖縄農業研究センター麦類育種研究室八田浩一氏には、コムギ種子の分譲、御助

言を賜った。元農林水産省農業研究センター小麦育種研究室長山口勲氏には、コムギ種子を分譲いただいた。北海道立中央農業試験場竹内徹氏、長浜恵氏には、コムギ種子の分譲、WYMV 株の収集で数々の便宜を図っていただいた。岩手県、宮城県、群馬県、滋賀県の各病害虫防除所、並びに茨城県農業総合センター渡邊健氏、三重県科学技術振興センター黒田克利氏、（独）農業・生物系特定産業技術研究機構九州沖縄農業研究センター上田重文氏には、WYMV 株の収集に当たり特段のご協力をいただいた。元東北農業研究センター地域基盤研究部病害管理研究室長石黒潔氏には、懇篤なご指導を賜った。ここに記して、各位に謝意を表す。なお、本報告は、北海道大学審査学位論文の一部を改変したものである。

## WYMV の病原性分化の確認と検定条件の確立

### 1. WYMV の病原性分化の確認

小田・柏崎（1989）は、茨城県つくば市の作物研究所（旧：農業研究センター）圃場において、コムギ品種の WYMV 抵抗性の系譜調査を行い、「ナンブコムギ」で WYMV が検出されなかったと報告している。しかし「ナンブコムギ」は岩手県盛岡市の東北農業研究センター圃場を始め岩手県内で縞萎縮病に罹病性であることが確認されている。こうしたことから、岩手県と茨城県での WYMV の病原性の違いが示唆された。そこで、茨城県石岡市で宇杉・斉藤（1976）が分離した日本の標準株である WYMV-T 株（以下、「T 株」という。）と東北農業研究センター圃場（岩手県盛岡市）から分離した WYMV-M 株（以下、「M 株」という。）との間で、病原性に違いがあるかを接種試験により確認した。

#### 1) 材料および方法

コムギの品種は、小田・柏崎（1989）により、作物研究所の特性検定圃場で抵抗性と報告された「Velvet」、「農林 10 号」、「ナンブコムギ」、「早熟赤毛」、および、罹病性とされた「フクホコムギ」を用いた。病原性の比較に用いたウイルス株は、東北農業研究センターで保存している M 株と旧農業研究センター（現中央農業総合研究センター）で継代接種により保存されていた T 株である。M 株と T 株はそれぞれ「ナンブコムギ」と「小麦農林 61 号」（以下「農林 61 号」という。）で増殖し、接種源と



した。T株またはM株に感染した罹病葉の生重1gに少量のカーボランダムと0.1Mリン酸緩衝液(pH7.0)10mlを加えて乳鉢と乳棒ですりつぶして得られた汁液を接種源とした。供試品種の種子を直径9cmのプラスチックポットに詰めた園芸用培土(クレハ園芸培土)に播き、20℃で3葉期まで育てた。この幼植物に、カーボランダムと共に接種源を指で擦りつけることで、WYMVを接種した。その後、幼植物は、直ちに散水して付着した接種源を洗い流し、接種による傷を回復させるため、遮風して7℃で7~10日間暗所に置いた。その後、接種した植物は、人工気象器(トミー精工製CU-350A)内で、栽培温度5℃、12時間日長(有効光合成放射量 $190 \mu \text{mol} \cdot \text{photon} / \text{m}^2 / \text{sec}.$ )で育てた。栽培温度を5℃としたのは、東北農業研究センター圃場において「ナンブコムギ」でコムギ縮萎病の病勢進展が最も盛んな期間の日平均気温がおよそ5℃であるという観察に基づく。M株、T株を接種したコムギは、それぞれ、92日後および87日後に地上部を採取し、ウイルス増殖の有無を調べた。接種個体数は3個体/鉢とし、1品種につき5鉢計15個体に接種した。接種時は、すべての供試品種1鉢ずつを含む組を1ブロックとし、各ブロックの中で接種する品種の順番を無作為化した。WYMVの検出は、DAS-ELISA(Clerk and Adams 1977)によりおこなった。採取した葉は生重の20倍量のTPBS(PBS(リン酸緩衝生理食塩水: NaCl 8.0g, KCl 0.2g,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  2.9g,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.2gを蒸留水1ℓに溶かしたもの(pH7.4))にTween20を0.05%(v/v)となるよう加えたもの)を加えて乳鉢ですりつぶした。得られた磨砕液を1.5ml容のマイクロテストチューブに移し、次の作業工程までは氷上におくか、一旦-40℃で凍結保存した。この磨砕液を小型卓上遠心器(日立製, HIMACSCT15B)により8000rpmで2分間遠心分離して得られた上清をELISAの被検液として使用した。96穴のアッセイプレート(FALCON社製)の所定のウエルに800倍に希釈したWYMV抗体液( $\gamma$ -グロブリン濃度 約 $1.25 \mu \text{g} / \text{ml}$ )を0.2mlずつ分注して37℃湿室に2時間静置後、TPBSで6回洗浄した。以下プレートの洗浄はすべて6回ずつおこなった。その後、各ウエルに被検液を0.2mlずつ分注し、4℃湿室に静置した。18時間後にプレートを洗浄し、アルカリフォスファターゼで標識した

WYMV抗体液を800倍に希釈したものを各ウエルに0.2mlずつ分注し37℃湿室に静置した。3.5時間後、プレートを洗浄し、基質液(p-ニトロフェニルリン酸二ナトリウムをジエタノールアミン溶液(10%(w/v))に1mg/mlとなるように溶かしたものを)0.3mlずつ各ウエルに分注し約20℃で1時間反応させた。反応は、405nmの波長での吸光値をプレートリーダー(BIORAD社製, Model 3550)で測定した。緩衝液のみの区の吸光値を各試料の吸光値から引いたものを $A_{405}$ とした。さらに、各試料区の $A_{405}$ からプレート毎の無接種植物汁液による対照区の $A_{405}$ の平均値を引いた値をELISA値とし、この値が0.1以上のものを陽性とした。以降、ELISAにおける判定基準は、特に記述しない限りここに記したとおりとした。使用した抗血清は、旧農業研究センター(現中央農業総合研究センター)より分譲されたものである。酵素標識抗体は、同血清より精製した $\gamma$ -グロブリンにアルカリフォスファターゼをグルタルアルデヒドにより結合させて作成した。

## 2) 結 果

小田・柏崎(1989)がウイルスの増殖を認めず抵抗性とした「Velvet」,「農林10号」,「早熟赤毛」,「ナンブコムギ」は、5回の試験のいずれかの試験においてWYMVへの感染と発病が確認され、すべてT株に対して罹病性であった(表1)。T株に対する陽性個体の頻度は、「フクホコムギ」で最も高かった。「Velvet」,「農林10号」,「ナンブコムギ」はM株にも罹病性であり、WYMV陽性個体の頻度は「ナンブコムギ」で最も高かった。「早熟赤毛」,「フクホコムギ」では全ての試験においてM株への感染が認められず、M株に対して抵抗性であった。

## 3) 考 察

本試験の結果から、WYMVの病原性の分化が明示された。すなわち、①M株とT株でいくつかの品種に対して明らかに病原性が異なること、②その違いは「フクホコムギ」,「早熟赤毛」で顕著であり、この2品種はM株に対してウイルスの増殖を認めない強度の抵抗性をもつこと、が明らかとなった。

## 2. コムギ品種のWYMVに対する抵抗性反応に及ぼす気温の影響

前節で、東北農業研究センター圃場から分離したM株と標準株であるT株とで病原性が異なること、両株は「ナンブコムギ」をおかすことが明らかと

表1 コムギ縞萎縮ウイルスの WYMV-M 株と WYMV-T 株に対するコムギ5品種の反応の違い

品種名	WYMV-M					WYMV-T				
	反復1	反復2	反復3	反復4	反復5	反復1	反復2	反復3	反復4	反復5
Velvet	1/3 <sup>a)</sup>	1/3	2/3	2/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	2/3
農林10号	2/3	2/3	0/3	0/3	2/3	1/3	2/3	0/3	0/3	1/2 <sup>b)</sup>
早熟赤毛	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	1/3	0/3	0/3	2/3
ナンブコムギ	0/3	2/3	3/3	3/3	3/3	1/3	1/3	2/3	0/3	0/3
フクホコムギ	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	3/3	1/3	2/3	2/3	1/3

a) ELISAでWYMV陽性の個体数/供試個体数

b) 不発芽のため1個体欠株

WYMV-M株とWYMV-T株は、それぞれ、岩手県盛岡市東北農業研究センター圃場と茨城県石岡市で分離された。

なった。一方、Kusume *et al.* (1997) は、接種した植物を 15℃で栽培し、T株が「フクホコムギ」はおかすが「ナンブコムギ」はおかさない、という著者と異なる結果を得ている。WYMVの接種試験と温度条件について、斉藤ら(1964)は、気温10℃以上のときはWYMVの接種試験が困難であること、また斉藤・岡本(1964)は「ナンブコムギ」は同じ病土を用いた露地試験でも比較的温暖な姫路市と寒冷地の盛岡市とでは反応が異なること、をそれぞれ指摘している。こうしたことから、「ナンブコムギ」のT株に対する反応は温度条件により異なるために、接種後の温度管理や圃場試験実施場所により抵抗性の評価が変わることが考えられた。このことを明らかにする目的で、5℃と10℃の両温度条件下で、T株に対する「ナンブコムギ」と「フクホコムギ」の反応を比較し、①「ナンブコムギ」は、温度の影響によりT株に対する抵抗性反応が変わる可能性があるか、②「ナンブコムギ」と「フクホコムギ」との間にT株に対する抵抗性反応への温度の影響の違いはあるのか、の2点について検証した。

#### 1) 材料および方法

コムギ品種は「ナンブコムギ」、「フクホコムギ」を用いた。T株は、Kusume *et al.* (1997) が用いたものと同一の株を譲り受け、「農林61号」に汁液接種して継代したものを接種源として用いた。被検植物の準備、接種、ELISAの手順は前節と同じである。「ナンブコムギ」40鉢合計200個体にT株を接種した。同時に本ウイルス株の陽性対照区として、「フクホコムギ」10鉢50個体に接種した。接種後、両品種を2つの集団に分けて、それぞれを、5℃と10℃の人工気象器(トミー精工製CU-350A)に移し、12時間日長(有効光合成放射量190 μ

mol.photon/m<sup>2</sup>/sec.)で育てた。7日おきに肉眼観察により発病を調査した。接種約2か月後に発病個体の頻度が安定した時点で地上部を採取し、ELISAにより感染の有無を確認した。「ナンブコムギ」では、接種後、およそ10日おきに発病状況を調査し、接種72日後と128日後に各温度処理区ごとに10鉢ずつ地上部を収穫し、ELISAによってWYMV感染頻度を調べた。このとき、同時接種した「フクホコムギ」も同様に調査した。これとは別に「フクホコムギ」のT株に対する反応に温度が及ぼす影響を調べる試験では、4個体/鉢播種し、40鉢に接種した。「ナンブコムギ」と同じ人工気象器で接種30日後より7日おきに発病状況を調査し、接種30、44、58、72日後に5鉢ずつ採取し、ELISAによりウイルス検出頻度の変化を調べた。発病は、病徴観察により、発病個体の頻度と指数(DI)で評価した。発病指数は以下の通りである。0:無病徴、1:最上位の1葉にのみ軽いモザイクが認められる、2:複数の上位葉にモザイク症状が認められる、3:株全体にモザイク症状と萎縮症状が認められる、4:株全体に激しい萎縮症状が認められ、新葉の壊死が認められる。

#### 2) 結果

陽性対照品種として用いた「フクホコムギ」では5℃栽培区で25個体中19個体、10℃栽培区でも25個体中10個体で発病し、無病徴感染個体2個体を含む12個体からWYMVが検出された(表2)。ただし、10℃では生育が進み、人工気象器内での生育が困難になったため接種71日後で発病調査を終了した。「ナンブコムギ」では、5℃栽培区と10℃栽培区で接種72日後に採取した試料で、それぞれ50個体中26個体、50個体中1個体からWYMVが検出された(表2)。接種128日後では、

表2 WYMV-T株汁液接種後の栽培温度が品種「ナンブコムギ」の葉でのWYMVの増殖に及ぼす影響

栽培温度	品種名	接種後日数	
		72日	128日
5℃	ナンブコムギ	26/50 <sup>a)</sup>	32/50
	フクホコムギ(陽性対照)	NT <sup>b)</sup>	19/25
10℃	ナンブコムギ	1/50	7/50
	フクホコムギ(陽性対照)	12/25	NT <sup>c)</sup>

a) ELISAでWYMV陽性の個体数/供試個体数

b) 調査なし

c) フクホコムギ10℃区は、72日目で調査終了した。

5℃栽培区と10℃栽培区では、それぞれ50個体中32個体と50個体中7個体であった。「ナンブコムギ」で、128日後にELISAに供試した50個体について、発病個体数とその発病指数(DI)の構成の推移をみると、5℃では、接種51日目以降に発病

が認められ、128日後には感染が認められたすべての個体で発病し、DIも3~4の重症個体の割合が高かった(図1)。これに対して、10℃では、接種30日後に1個体で発病が確認され、127日後まででは、通算3個体で発病したにすぎない。このとき発病株のDIは、2個体で1、別の1個体で3であった。「ナンブコムギ」、「フクホコムギ」両品種間で接種72日後および128日後にELISAに供試した個体の発病個体頻度および発病指数の推移を比較すると、いずれの温度でも「フクホコムギ」の発病個体頻度とDIは「ナンブコムギ」を上回り、その差は5℃区より10℃区で大きかった(図1)。また、「フクホコムギ」では、5℃と10℃で発病個体数が接種72日後と41日後に、それぞれ最大に達し、病勢進展は「ナンブコムギ」より速かった。

「フクホコムギ」にT株を汁液接種したときのウイルス検出頻度の推移および発病指数の推移を5℃と10℃で比較すると、ウイルス検出頻度は

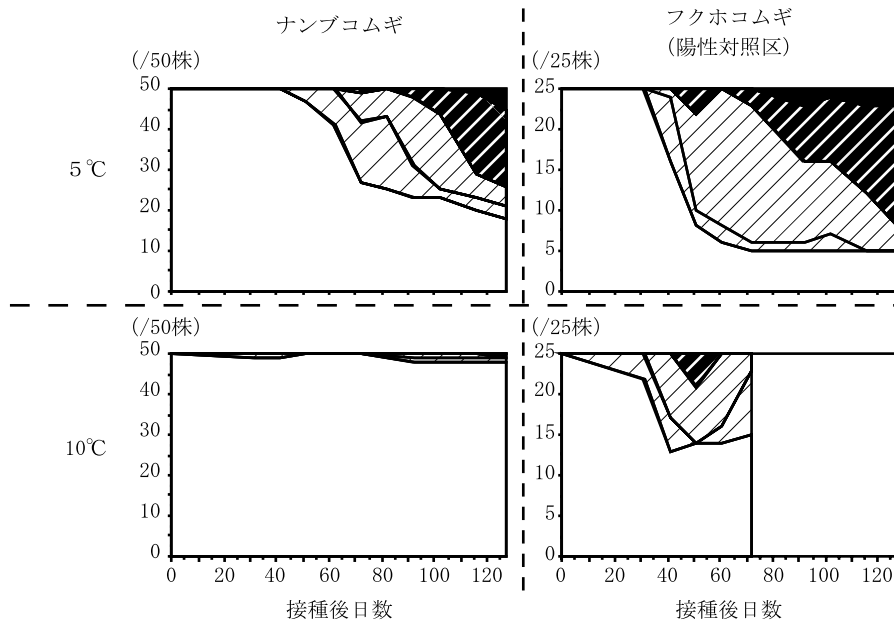


図1 WYMV-T株を接種後5℃と10℃で育てた「ナンブコムギ」における発病指数別個体数の経時的変化の比較

T株罹病性の陽性対照品種としてフクホコムギを用いた。

発病指数(DI)

- 4: 全身の激しいモザイク症状と一部上位葉のえ死を呈する
- ▨ 3: 全身モザイク症状と萎縮症状を呈する
- ▧ 2: 上位葉に明瞭なモザイク症状を呈する
- ▩ 1: 上位1ないし2葉に微かなモザイク症状
- 0: 無病徴

表3 WYMV-T 株汁液接種後の栽培温度が品種「フクホコムギ」の葉での WYMV 増殖に及ぼす影響

栽培温度	接種後日数			
	30日	44日	58日	72日
5℃	a) 1/20	9/20	13/19	13/19
10℃	9/20	8/19	10/20	11/19

a) ELISA陽性個体数/供試個体数

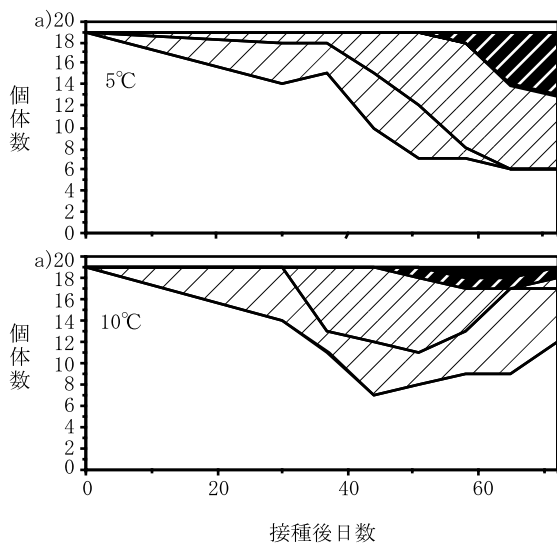


図2 WYMV-T 株を接種後 5℃と 10℃で育てた「フクホコムギ」の発病指数別発病個体数の経時変化

a) 5℃区, 10℃区各19個体供試した。

発病指数 (DI)

- 4: 全身の激しいモザイク症状と一部上位葉のえ死を呈する
- ▨ 3: 全身モザイク症状と萎縮症状を呈する
- ▧ 2: 上位葉に明瞭なモザイク症状を呈する
- ▩ 1: 上位1ないし2葉に微かなモザイク症状
- 0: 無病徴

5℃区より 10℃区で早い時期に高まった (表3)。しかし、最終的な検出頻度は 5℃区より 10℃区でやや低いか同等であった。5℃区と 10℃区で 72 日後に ELISA に供試した各 19 個体について、発病指数の推移をみると、10℃では指数が 4 の重症個体が出現したものの、多くは 1, 2 に留まり、試験後半のマスクングによる発病個体数の減少も顕著であった (図2)。一方、5℃では発病指数は漸増し発病個体の多くは指数 2, 3 となった。また、マス

キングも認められなかった。以上をまとめると、T 株に対する「ナンブコムギ」の反応は「フクホコムギ」に比較して、①発病株数の増加時期は遅く、②5℃区に比べて 10℃区では軽症に留まり、③5℃区と 10℃区の両者の間における発病個体頻度および指数の違いが大きい、ことが特徴であった。

### 3. 「畠田小麦」の反応に及ぼす気温の影響

楠目ら (Kusume *et al.* 1997) は、北海道内で採取した WYMV 株を接種後 15℃で栽培したときに「畠田小麦」は発病しなかったという彼らを得た結果と、斉藤・岡本 (1964) による東北農業試験場 (現東北農業研究センター) 圃場で「畠田小麦」が発病したという報告から、北海道の WYMV 株の病原性が東北農業研究センターの WYMV 株と異なる可能性を指摘している。しかし、一方は圃場試験、一方は 15℃というやや高い温度での接種試験であることから、それらの結果を直接比較することは難しいと考えられた。そこで、北海道の分離株と東北農業研究センター圃場の分離株が「畠田小麦」の反応により明確に分けられるか否かを確かめるために、北海道伊達市の特性検定圃場から採取した WYMV-Dm 株 (以下 Dm 株とする) について、M 株との「畠田小麦」に対する病原性を同一の温度条件下で直接比較した。

#### 1) 材料および方法

楠目ら (Kusume *et al.* 1997) の結果との比較のために、接種後被検植物を育てる温度を、楠目らがおこなった 15℃と、前節で安定した発病が得られた 5℃の 2 段階設定して発病を比較した。それ以外の試験条件・方法は、前節と同じである。

#### 2) 結果

「畠田小麦」は、5℃では、M 株と Dm 株両方に低い頻度で感染した。一方、15℃では、M 株に低頻度で感染したが Dm 株には感染しなかった (表4)。

#### 3) 考察

本章における試験の結果から、①「ナンブコムギ」、 「フクホコムギ」の T 株に対する反応は温度の影響を受け、②温度の影響は「フクホコムギ」より「ナンブコムギ」で大きい、ことが明らかとなった。すなわち、品種により抵抗性反応に及ぼす温度の影響の大きさが異なることが示された。「ナンブコムギ」は、T 株に罹病性であるものの、気温が 10℃の時は、ほとんど発病せず WYMV 検出頻度も低い、いわば抵抗性のような反応を示すことが明らかとな

表4 品種「畠田小麦」の WYMV-M 株と-Dm 株  
に対する抵抗性反応の異同

接種後の 栽培気温	品種名	WYMV-M株		WYMV-Dm株	
		試験1	試験2	試験1	試験2
5℃	ナンブコムギ	a)6/7	5/7	7/8	3/4
	畠田小麦	2/14	3/14	4/14	2/14
15℃	ナンブコムギ	1/8	6/6	4/8	6/7
	畠田小麦	0/14	2/14	0/14	0/14

a) ELISAでWYMV陽性個体数/接種個体数  
Dm株は北海道伊達市で採取された。

り, Kusume *et al.* (1997) が報告した 15℃では、発病個体の頻度とウイルスの検出個体頻度はさらに低くなることが予想された。「フクホコムギ」の T 株に対する反応も温度による影響を受けていたが、「フクホコムギ」は「ナンブコムギ」より温度の影響を受けにくいことが明らかとなった。また、試験をおこなったいずれの温度でも「ナンブコムギ」は「フクホコムギ」より病勢進展および WYMV 検出頻度の増加が遅かった。以上から、「ナンブコムギ」と「フクホコムギ」の T 株に対する抵抗性反応は気温によって大きく変動すると考えられる。

Kusume *et al.* (1997) が示した、北海道の WYMV 株と東北農業研究センターの WYMV 株とが「畠田小麦」に対する病原性の有無により類別される可能性を Dm 株と M 株で検討した結果から、両 WYMV 株の間の病原性の違いは判然とせず、従って、少なくとも Dm 株と M 株について、「畠田小麦」を判別品種として病原性を区別する合理性はないと判断した。「畠田小麦」の M 株と Dm 株に対する反応においても、温度条件による抵抗性反応の違いが観察された。

以上の「ナンブコムギ」、「フクホコムギ」、「畠田小麦」の試験の結果は、汚染圃場での自然発病下での抵抗性検定において、同じウイルス株に対して、比較的温暖な土地で抵抗性を示したにも関わらず寒冷地では罹病性と評価される品種が存在することを示唆した。また、より低温の 5℃で長期間経過する方が病徴発現と WYMV の増殖が安定していると考えられた。斉藤・岡本 (1964) は、盛岡市の東北農業研究センター内の病土と姫路市の農林省中国農業試験場 (福山市に移転。現在は、近畿中国四国農業研究センター) 内の病土を交換し、それぞれの試験場内に設置したコンクリート枠内の両病土で同一の

品種を用いて発病の比較をおこなったところ、いずれの病土でも、供試品種全般に盛岡での発病が激しく、なかでも「ナンブコムギ」をはじめ数品種では、姫路病土に対して姫路では発病が認められなかったにも関わらず、盛岡では 90%以上の個体で発病が認められたことを報告している。姫路では冬期に日平均気温が 5℃以下で経過する期間がほとんどないのに対して、盛岡では、11月中旬から4月中旬まで日平均気温 5℃以下の低温条件が長期にわたることから、「ナンブコムギ」の温度に対する抵抗性反応の変動が原因で、このような発病程度の地域間差が生じたと考えられ、品種に依存する現象であると考えられた。また、同じ斉藤・岡本 (1964) の報告で供試した品種全般に盛岡で発病が激しいのは、本試験で示されたように感染後に長期間低温で経過することにより病徴が安定して進展したためと考えられた。実用品種には様々な条件で安定して発現される抵抗性が求められることから、「ナンブコムギ」での T 株に対する反応を考えると、温度により罹病性が変化するものを抵抗性品種とした場合、栽培地や年次間の温度条件の違いにより安定した発病軽減効果を期待できず、コムギ生産現場での混乱が予想される。したがって、品種育成や交配母本の評価に当たっては、こうした品種は罹病性として扱う方がよいといえる。

本節の結果から、抵抗性品種の評価法として、汁液接種を行ったのち、①接種 2 か月後を目途に発病個体の頻度が安定するまで 5℃で育生する、②この時点で発病せずウイルスが検出されない品種を抵抗性として評価する、③検定しようとする WYMV 株に罹病性の判別品種にも陽性対照区として同時に接種し、その品種で高率に発病することで試験が成立していることも確認する、という手順を経ることにより、抵抗性が確実に評価できると考えられた。接種後の栽培管理を屋外で行うと、汚染圃場における試験と同様に、抵抗性検定のための期間が限られ、また温度条件が不安定になるので、接種試験はその利点を最大限に活かすうえからも、人工気象条件下で行う必要がある。

#### WYMV の病原性を類別する判別品種の検索

前章で、WYMV の病原性の分化を確認し、コムギ縮病の汁液接種を安定かつ効率的に行うための条件を明らかにした。そこで、本章では、汁液接

種による検定を基本として、①判別品種の選定と WYMV の病原型の決定、②主要検定圃場から採取した WYMV 株の病原型の類別とそれら病原型に対する抵抗性遺伝資源の提示、を試みた。そのために、小田・柏崎（1989）が示した品種群を中心とした品種の中から M 株と T 株に対する抵抗性反応の違いを基に判別品種を選び、その判別品種を用いて日本各地の主要なコムギ縞萎縮病抵抗性検定圃場における WYMV の病原型を類別した。

### 1. 判別品種の選定

#### 1) 材料および方法

判別品種の選定は、以下の手順でおこなった。まず、判別品種の候補となるコムギ品種・系統（以下、「品種」という。）を東北農業研究センター内のコムギ縞萎縮病汚染圃場に作付けし、それら品種の地上

部での発病とウイルス増殖の有無、さらに、地下部におけるウイルスの増殖の有無に基づいて一次選抜をおこなった。次に、一次選抜された品種の T 株に対する反応を、汁液接種により調べ、病徴の発現とウイルスの増殖の有無が一致したものを二次選抜した。二次選抜した品種に対して、M 株を汁液接種し、圃場での反応と同じかどうかを確かめ、一致したものを判別品種として採択した。この際、判別品種の選定には、栽培の容易さ、採種性、母本としての利用の可能性も考慮した。初めに圃場試験で一次選抜したのは、圃場で候補品種を絞り込むことで、多数の品種から選定するための作業効率を高めることをねらったためである。判別品種の候補となるコムギの品種は、小田・柏崎（1989）の報告と東北農業研究センター圃場における予備調査（表5）に基

表5 東北農業センター特性検定圃場におけるコムギ縞萎縮病に対するコムギ品種・系統の反応

品種名	a) 病 徴	b) ELISA	品種名	病 徴	ELISA
ナンブコムギ	+	+	タクネコムギ	+	+
<i>A. speltooides</i>	-	-	ホロシリコムギ	+	+
ペトクーザ（ライ麦）	-	-	チホクコムギ	+	+
Triticale	-	-	タイセツコムギ	+	+
Avalon	-	-	東北195号	-	-
Bezostayal	+	+	東北196号	-	+
Gains	+	+	東北198号	+	+
西海178号	-	-	東北199号	+	-
西海179号	-	-	東北200号	-	+
東山30号	-	-	東北201号	+	+
東山31号	+	+	東北202号	+	+
北海251号	+	+	東北203号	+	-
北海252号	+	+	東北204号	-	-
北見71号	+	+	中間母本農1さび	+	+
北見72号	+	+	中間母本農2さび	+	+
東北205号	-	-	中間母本農3さび	+	+
東北207号	-	+	中間母本農5さび	-	+
東北206号	-	-	オクコムギ	+	+
東北208号	-	-	シモフサコムギ	+	+
しゅんよう（東山25号）	-	-	ハチマンコムギ	+	+
あきたっこ	-	+	ハナガサコムギ	+	+
ホクシン（北見66号）	+	+	ヒツミコムギ	+	+
江島神力	±	-	フルツマサリ	+	+
埼玉27号	-	+	ミクニコムギ	+	+
資選	+	+	ミヤギノコムギ	-	+
シラネコムギ	+	+	ユキチャボ	-	+
農林10号	-	+	ワカマツコムギ	+	+
キタカミコムギ	-	+			
アオバコムギ	+	+			
コユキコムギ	+	+			

1996年5月28日に調査した。

a) +病徴あり，-病徴無し，±擬わしい

b) ELISAにて，+（陽性），-（陰性）

づき、合計54品種・系統を供試した(表6-1, 2)。これらのうち、(独)農業生物資源研究所のジーンバンク保存種子には、Accession number が示してある。それ以外の品種の種子は、表に示した研究機関より分譲されたもの、または東北農業研究センター地域基盤研究部病害管理研究室保存のものを用いた。それぞれの品種は、温室で袋かけ採種により種子を増殖してから用いた。

WYMV 検定の ELISA は、II 章 1 節と同じ方法で行った。ただし、地下部の試料の磨砕用緩衝液には、宇杉ら(1984)の報告に従い、0.05%となるよう Tween20 を添加した 0.1M クエン酸緩衝液 (pH7.0) を用いた。

#### (1) 圃場試験

圃場での自然感染による一次選抜は、東北農業研

究センター内圃場で行った。この圃場は、湿性腐植質の黒ボク土 (pH 5.0) で、コムギを 7 年連作し、圃場全体に縞萎縮病発病が認められた。地上部からの WYMV の検出は、1996 年～1997 年 (1996 年 9 月 28 日播種, 1997 年 4 月 8 日調査)、および 1997 年～1998 年 (1997 年 9 月 27 日播種, 1998 年 4 月 20 日調査) の 2 か年、地下部からの WYMV の検出については、1998 年～1999 年 (1998 年 9 月 28 日播種, 1999 年 4 月 14 日調査) の 1 か年おこなった。1996 年に播種した試験には 17 品種供試し、1997 年に播種した試験には、前年の試験で WYMV が検出されなかった 13 品種を含む 50 品種を供試した。さらに、1998 年に播種した試験には、前年の試験で発病の有無および地上部からのウイルス検出の有無が明瞭であった品種を中心に 24 品種を選び

表 6 - 1 圃場での自然感染下での判別品種候補一次選抜試験で供試した品種の発病と地上部・地下部における WYMV 検出

品種名	1996年播種 地上部		1997年播種 地上部		1998年播種 地下部		種子の由来 (Accession number) <sup>d)</sup>
	発病率	WYMV検出	発病率	WYMV検出	発病率	WYMV検出	
農林16号			35/79 <sup>a)</sup>	10/10 <sup>b)</sup>	34/39	+ <sup>c)</sup>	(00023010)
農林20号	0/23	0/5	0/15	0/10	0/10	—	(00023573)
農林26号			0/54	0/10			(00023283)
農林30号	0/8	0/5	0/22	1/10			(00023232)
農林42号			0/1	0/1			(00023012)
農林43号			0/18	0/10	0/7	—	(00023285)
農林59号			8/75	10/10			(00023287)
農林61号	0/21	0/5	0/54	0/10	0/18	—	東北農業研究センター
農林74号			4/46	2/10			(00023387)
北海240号			0/83	0/10	0/40	—	(00022294)
東北83号	0/34	5/5	6/81	10/10	7/45	+	(00022521)
東北101号	0/43	0/5	1/90	4/10	1/35	+	東北農業研究センター
関東88号	0/22	0/5					(00023084)
関東102号	0/35	0/5	0/22	0/10			(00023204)
関東107号			0/72	0/10	0/41	—	(00023215)
北見18号			17/87	10/10			(00022253)
北見19号			67/73	10/10			(00022254)
北系1693			3/67	2/10			北海道立中央農業試験場
北系1651			4/79	8/10			北海道立中央農業試験場
北見71号			69/72	10/10			北海道立中央農業試験場
北見72号			77/77	10/10	20/22	+	北海道立中央農業試験場
北見73号			54/85	10/10			北海道立中央農業試験場
北関東44号			10/73	10/10	10/46	+	(00022928)
埼玉27号	0/13	0/5	0/11	0/10	0/7	—	(00022967)
埼玉29号			3/80	10/10	3/46	+	(00022968)
赤坊主			12/54	10/10			(00022195)
赤達磨			46/66	9/10			(00022865)
赤皮赤1号			0/84	10/10	1/38	+	(00022342)
アサカゼコムギ	0/27	0/5	0/4	0/4			(00023700)

供試した。

試験は、いずれの年も2反復乱塊法で行った。試験圃場内に75 cm間隔で長さ22mの畦を設置し、1畦おきに試験畦とした。各試験畦の両側の畦および各試験畦両端50 cmには、この圃場で明瞭な罹病性を示す品種「ナンブコムギ」を罹病性対照品種として播種した。試験区は、1反復2 mの長さとした。播種は、8 cm間隔の点播とした。各品種は試験畦内に無作為に配置した。供試1品種につき25粒/反復として1996年には2反復計50粒、1997年には4反復計100粒を播種した。越冬後に全ての個体について発病調査をおこなった。その後、1996年に播種した試験では1品種につき2つの反復から無作為に合計5個体、1997年に播種した試験では1品種につき各反復につき2、3個体ずつ4反復合計10

個体の地上部を採取し、ELISAによりWYMV感染の有無を調べた。越冬個体数が採取予定数に満たない品種は、全ての個体を採取した。1998年に播種した試験では、越冬後の1999年4月14日に全個体の発病調査を行い、前年同様に各品種ごとに10個体を無作為に選び、掘り取った。一品種当たり10個体分の地下部を混合して1試料としてELISAによりWYMV検出の有無を調べた。越冬個体数が10個体に満たない反復は全個体を用いた。以上の圃場試験の結果から、東北農業研究センター圃場で地上部と地下部でのウイルスの増殖の有無および病徴発現の有無が明瞭な品種を一次選抜した。

#### (2) 人工気象下での接種試験

汁液接種試験により、一次選抜した品種からのT株に対する反応による二次選抜、およびその後

表6-2

品種名	1996年播種 地上部		1997年播種 地上部		1998年播種 地下部		種子の由来 (Accession number) <sup>d)</sup>
	発病率	WYMV検出	発病率	WYMV検出	発病率	WYMV検出	
伊賀筑後			0/29	1/10			(00023536)
江島神力			0/40	0/10	0/21	—	(00023526)
キタカミコムギ	0/42	6/6					東北農業研究センター
資選1号			0/4	4/4			(00022471)
シラサギコムギ	0/5	0/5	0/58	0/10	0/39	—	(00023389)
シロガネコムギ			0/61	0/10	0/34	—	(00023708)
白達磨			0/63	10/10			(00022981)
白チャボ			0/63	10/10			(00023276)
新中長	0/21	0/5	17/63	5/10			(00023274)
ゼンコウジコムギ			0/37	0/10	2/18	—	(00023006)
早熟赤毛	0/39	0/5	0/64	0/9	0/41	—	作物研究所
達磨			0/73	10/10			(00022877)
チクシコムギ			14/61	6/10	0/8	—	(00023698)
チホクコムギ			72/90	10/10	33/35	+	東北農業研究センター
ニシカゼコムギ	0/24	0/5					九州沖縄農業研究センター
白火			16/76	7/10			(00023952)
畠田小麦	0/14	0/5	2/35	2/5	0/8	—	九州沖縄農業研究センター
ハルヒカリ			10/54	5/10			(00022244)
広島シプレー			3/89	2/10			(00023368)
ホクシン			77/77	10/10	33/36	+	北海道立中央農業試験場
ホロシリコムギ			8/69	8/10	29/36	+	東北農業研究センター
優勝旗			0/20	8/10			(00023377)
EINKORN	0/13	0/5	0/13	0/10			(00027482)
Turkey red			64/67	10/10	31/33	+	九州沖縄農業研究センター
velvet	6/40	5/5					作物研究所
(対照)							
ナンブコムギ	82/96	20/20	48/113	20/20	4/47	+	東北農業研究センター

試験は東北農業研究センター内のコムギ縞萎縮病汚染圃場で自然感染下で行った。

a) 発病株頻度 (発病個体数/調査個体数)。空欄は供試しなかった。

b) WYMV検出頻度 (ELISAでWYMV陽性個体数/調査個体数)。空欄は供試しなかった。

c) 地下部でのWYMV検出の有無。+ : ELISAでWYMV陽性, - : ELISAでWYMV陰性, 空欄は供試しなかった。

d) (独) 農業生物資源研究所ジーンバンク保存種子のAccession number



のM株に対する反応と圃場試験の結果が一致するかの確認をおこなった。汁液接種の方法はI章2節と同様で、接種後の植物の育生は、I章2節と同じ人工気象下で気温5℃で行った。

## 2) 結 果

### (1) 圃場での自然発病環境下での一次選抜 供試品種と3か年の試験結果を表6にまとめた。

1996年播種の圃場試験では、罹病性対照品種のナンブコムギで検出頻度は100%であったが、発病期間中の気温が3月中旬から平年よりやや高めに推移したが4月に入り5℃から10℃で経過したため発病個体は96個体中82個体となった。この条件下でWYMVが検出されなかった品種は、「農林20号」、「農林30号」、「農林61号」、「東北101号」、「関東88号」、「関東102号」、「埼玉27号」、「アサカゼコムギ」、「シラサギコムギ」、「新中長」、「早熟赤毛」、「ニシカゼコムギ」、「畠田小麦」(以上 *T. aestivum*)、「EINKORN」(*T. monococcum*)であった。ただし、「シラサギコムギ」は、発芽歩合が低かったため調査個体数が少なかった。「キタカミコムギ」は病徴は示さなかったが、調査個体すべてでWYMVが検出された。

1997年播種の圃場試験では、発病期間の気温が平年より高めに推移したために陽性対照品種「ナンブコムギ」では、検出頻度は前年同様100%であったが発病は113個体中48個体に留まった。この条件下でWYMVが検出されなかった品種は、「農林20号」、「農林26号」、「農林43号」、「農林61号」、「北海240号」、「関東102号」、「関東107号」、「埼玉27号」、「アサカゼコムギ」、「江島神力」、「シラサギコムギ」、「シロガネコムギ」、「ゼンコウジコムギ」、「早熟赤毛」、「EINKORN」であった。一方、症状が明らかで発病個体頻度とWYMV感染個体頻度が高かったのは、「農林16号」、「北見19号」、「北見71号」、「北見72号」、「北見73号」、「赤達磨」、「チホクコムギ」、「ホクシン」、「Turkey Red」であった。

1998年播種は、前年の試験で地上部での抵抗性および罹病性反応が明瞭であったものを中心に、地下部からWYMVの検出をおこなった。この年の発病期間全般に気温は平年を上回ったため、発病は全般に軽微であった。この条件下で発病が認められずWYMVが検出されなかった品種は「農林20号」、「農林43号」、「農林61号」、「北海240号」、「関東

107号」、「埼玉27号」、「江島神力」、「シラサギコムギ」、「シロガネコムギ」、「早熟赤毛」、であった。一方、病徴が明らかでWYMVが検出されたものは、「農林16号」、「北見72号」、「北関東44号」、「チホクコムギ」、「ホクシン」、「Turkey Red」であった。

以上の圃場試験から、地上部と地下部からのウイルス検出の有無が一致した以下の品種を判別品種の一次候補とした。すなわち、東北農業研究センター圃場での抵抗性品種として、「農林20号」、「農林43号」、「農林61号」、「北海240号」、「関東107号」、「早熟赤毛」、「ゼンコウジコムギ」、「シラサギコムギ」、「シロガネコムギ」、「江島神力」、およびII-1でT株に罹病性でM株に抵抗性を示すことを報告した「フクホコムギ」の合計11品種を選定した。東北農業研究センター圃場で罹病性を示した品種としては、「ナンブコムギ」、「農林16号」、「東北83号」、「北見72号」、「赤皮赤」、「ホクシン」、「Turkey Red」、「北関東44号」、「埼玉29号」の9品種を選んだ。

### (2) 人工気象下の接種試験による判別品種の選定

圃場の自然発病下でM株に対して抵抗性を示した11品種と罹病性を示した9品種の合計20品種のT株に対する汁液接種試験における反応は、表7のようになった。供試した品種は「北海240号」を除きすべての品種・系統で、圃場での抵抗性・罹病性に関わらず病徴が確認されWYMVが検出された。「関東107号」、「シラサギコムギ」も、T株の検出頻度が低かったが、罹病性を示した。この結果に、採種性、栽培しやすさも加味してT株に抵抗性をしめす判別品種として「北海240号」を、また、T株に対してウイルス検出頻度が高く病徴が明瞭であった「フクホコムギ」をT株とM株との病原性を分ける判別品種として、それぞれ選定した。T株、M株の両方に罹病性と考えられる品種として、「ナンブコムギ」を選んだ。これは、「ナンブコムギ」が岩手県内で安定して罹病性を示すこと、人工気象下での栽培が容易であることなどを考慮した。これら品種について、M株を接種し同株を採取した圃場での反応との整合性を確認したところ、一致していた(表7)。以上から、「フクホコムギ」、「北海240号」、「ナンブコムギ」を判別品種とし、「北海240号」を侵さず「フクホコムギ」、「ナンブコムギ」を侵すT株を代表株とするI型と、「北海240号」、

表7 人工気象下での汁液接種試験における判別品種候補品種の WYMV-T 株、-M 株に対する反応

東北農研センター圃場で抵抗性			東北農研センター圃場で罹病性		
品種・系統名	検出頻度 <sup>a)</sup>		品種・系統名	検出頻度 <sup>a)</sup>	
	(WYMV株名)			(WYMV株名)	
	T株	M株		T株	M株
フクホコムギ	7/10	0/15	ナンブコムギ	4/15	11/15
農林20号	7/10		農林16号	3/10	
農林43号	5/10		東北83号	3/10	
農林61号	5/10		北見72号	7/10	
北海240号	0/10	0/15	赤皮赤	9/10	
関東107号	4/10		ホクシン	5/10	
江島神力	4/6		Turky Red	3/10	
早熟赤毛	8/10	0/15	北関東44号	6/10	
ゼンコウジコムギ	7/9		埼玉29号	4/9	
シラサギコムギ	3/8				
シロガネコムギ	7/10				

接種した植物は、人工気象下（5℃、12時間日長（有効光合成放射量190 μmol phton/s/m<sup>2</sup>））で約2ヶ月間育てた。

WYMVが検出された個体の全てにおいて発病が認められた。

a) ELISAでWYMV陽性の個体数/供試個体数

表8 主要な縮萎病抵抗性検定圃場より分離した WYMV の判別品種に対する反応

ウイルス株	採取地	判別品種名			病原型
		フクホコムギ	北海240号	ナンブコムギ	
WYMV-Dm	北海道伊達市	<sup>a)</sup> 0/17	0/19	10/15	II
WYMV-NC	茨城県つくば市（作物研究所）	9/12	0/14	7/12	I
WYMV-K	福岡県筑後市（九州沖縄農業研究センター）	16/24	0/23	9/21	I

a) ELISAでWYMV陽性の個体数/供試個体数

WYMV陽性個体の全てで発病が認められた。

「フクホコムギ」をおかさず「ナンブコムギ」をおかずM株を代表株とする「型の二つの病原型を設定した。

## 2. 主要検定圃場から採取した WYMV 株の病原型の類別

### 1) 材料および方法

東北農業研究センター以外の北海道伊達市、作物研究所、九州沖縄農業研究センターの各検定圃場から採取した分離株の一覧を表8に示した。各WYMV株は、採取した品種で増殖後、電子顕微鏡でダイレクトネガティブ法（DN法）により粒子形態を確認するとともに、ELISAにより、WYMV抗血清との反応性およびSBWMVの混合感染の有無を確認した。作物研究所および九州沖縄農業研究センターの分離株では、電子顕微鏡観察および

ELISAでSBWMVによる麦類縮萎病の混合感染が明らかとなった。そこで、SBWMVの増殖適温がWYMVより高いことを利用して、SBWMVが増えにくいと思われる5℃での継代接種を数回繰り返し、ELISAでSBWMVが検出されなかった罹病植物を接種源として供試した。判別品種（「北海240号」、「フクホコムギ」、「ナンブコムギ」）の種子を5～7粒ずつ直径9cmのプラスチックポットに詰め、園芸用培土（クレハ園芸培土）に播種し、20～25℃で3葉期まで育て、前述したのと同じ条件で接種、発病調査、WYMV検出をおこなった。

### 2) 結果

北海道伊達市、茨城県つくば市作物研究所、福岡県筑後市九州沖縄農業研究センターの各特性検定圃場から採取した罹病葉には、いずれも長さ約

570nm と約 275nm の二つのひも状粒子からなる典型的な WYMV 粒子が確認され、ELISA で WYMV が検出された。判別品種に対する病原性は、北海道伊達市で分離した Dm 株は M 株と同様に「北海 240 号」, 「フクホコムギ」をおかさず「ナンプコムギ」をおかしⅡ型と類別された。一方、作物研究所の株 (WYMV-NC 株, 以下 NC 株という。) と九州・沖縄農業研究センター圃場の株 (WYMV-K 株, 以下 K 株という。) は、「北海 240 号」をおかさず、「フクホコムギ」, 「ナンプコムギ」をおかしⅠ型と類別された (表 8)。

### 3) 考 察

品種反応が発病地により異なることから、病原ウイルス系統の存在が古くから指摘されていた。和田・深野 (和田・深野, 1935b, 1936) は、九州各地および国内の主要なコムギ品種育成場所の汚染土壌を当時の農事試験場九州小麦試験地に集め、圃場試験により品種反応を比較し、「西国穂揃」, 「新中長」, 「農林 4 号」の反応により病土をいくつかのタイプにわけ、病原性分化の可能性を示した。斉藤・岡本 (1964) も、当時姫路市にあった中国農業試験場の圃場に同様に病土を集め、品種反応を比較すると同時に、盛岡市の当時の東北農業試験場との間で土壌を交換し品種反応を比較した。その結果、発病は試験場所・試験年次により様々で、発生地により発病に品種間差が認められるのは、単にウイルスの病原性の違いや土壌の違いによるものではないと結論した。こうしたことから、圃場試験による WYMV の病原性の類別は困難視された。また、接種試験が困難であったために、各地で発生している WYMV 株の接種試験による比較にも到らず、特性検定圃場間での抵抗性遺伝資源の異同も実質的に比較できなかった。本節では、接種後の気温を 5℃ に保つ汁液接種試験により、環境による反応の違いを排除して、①判別品種と病原型の決定、②主要特性検定圃場からの分離株の病原型の類別を試みた。

WYMV 系統類別のための判別品種を選ぶにあたり、まず、罹病性ないし抵抗性の反応が明瞭に差別できるものを判別品種とすることが重要と考えた。小田・柏崎 (1989) は、ELISA を用いて農林登録品種およびその系譜上の 168 品種の汚染圃場における WYMV 感染の検定を行い、いくつかの品種を WYMV が検出されないことにより抵抗性遺伝資源と推定した。そこで、最初の手がかりとして、小

田・柏崎 (1989) の抵抗性の系譜に関する情報を基として、東北農業研究センター圃場におけるいくつかの品種の反応も参考にして、ELISA による判定を基本に判別品種の選定をおこなった。その結果、WYMV は「フクホコムギ」に対する病原性の有無により、2つの病原型に類別することとした。さらに、「北海 240 号」は、いずれの病原型に対しても抵抗性遺伝資源となりうるということが明らかになった。そこで、宇杉ら (1985) の BaYMV の系統の類別を参考にして、T 株を代表株とする「フクホコムギ」をおかし「北海 240 号」をおかさないⅠ型と、M 株を代表株とする「フクホコムギ」, 「北海 240 号」を共におかさないⅡ型を設定した。

上記の判別品種を用いて、主要育種場所の特性検定圃場から採取した WYMV 株の病原性を類別したところ、北海道伊達市の検定圃場の Dm 株は M 株と同じⅡ型に、作物研究所の検定圃場の NC 株と九州沖縄農業研究センター検定圃場の K 株は T 株と同じⅠ型に、それぞれ類別された。

判別品種の他に、「関東 107 号」と「シラサギコムギ」は、Ⅱ型に対して「フクホコムギ」同様の抵抗性を有することが明らかとなった。さらに、両品種の T 株に対する反応は、ELISA では抵抗性は判然としないものの、被接種個体数に占める発病個体数の割合が「フクホコムギ」より低い。このことから、両品種は、Ⅰ型に対しても何らかの抵抗性因子を持つと考えられた。実際に、両品種の後代で、いずれかの品種から抵抗性を引き継いだと推定される「シロガネコムギ」, 「チクゴイズミ」, 「ネバリゴシ」といった品種は、九州沖縄農業研究センター (Ⅰ型)、東北農業研究センター (Ⅱ型) の各検定圃場で抵抗性品種として選抜され、Ⅰ型、Ⅱ型のそれぞれの汚染地域で抵抗性品種として実用化されている。

一方で、「キタカミコムギ」のように、高頻度に WYMV に感染しても病徴が認められないか軽微である品種の存在が明らかとなった。「キタカミコムギ」は、反応としては広義の抵抗性ではあるが、その栽培により伝染源の生産と拡散が起っていると考えられる。こうした品種の後に罹病性の品種が普及すると、発病が広域にわたり一度に顕在化すると考えられる。今後、被害の拡大防止に向けて、既存品種も含めた抵抗性の評価に注意する必要がある。

表9 日本国内主要コムギ縞萎縮病発生地から採取した WYMV 株の病原型

WYMV株名	採種地	WYMV 検出頻度 <sup>a)</sup>			病原型
		フクホコムギ	北海240号	ナンブコムギ	
WYMV-Tn2	北海道端野町	0/14	2 <sup>b)</sup> /14	10/14	II
WYMV-Kw3	北海道共和町	0/14	2 <sup>b)</sup> /13	13/13	II
WYMV-Ng	青森県三戸郡南郷村	0/19	0/18	15/19	II
WYMV-Yb2	岩手県紫波郡矢巾町	0/12	0/12	9/14	II
WYMV-Sw	岩手県紫波郡紫波町	0/14	1 <sup>b)</sup> /14	6/14	II
WYMV-Hm3	岩手県花巻市	0/14	0/14	7/14	II
WYMV-K k 2	岩手県北上市	0/21	1 <sup>b)</sup> /18	7/10	II
WYMV-K k	岩手県北上市和賀	0/14	3 <sup>b)</sup> /12	10/12	II
WYMV-Ic	岩手県一関市	0/17	0/21	10/18	II
WYMV-Fs	岩手県藤沢町	0/14	0/14	13/14	II
WYMV-Hz	宮城県登米郡迫町	11/24	5 <sup>b)</sup> /24	7/23	I
WYMV-Ka	群馬県粕川村	9/14	0/14	7/14	I
WYMV-Yk	茨城県結城市	4/17	0/19	3/13	I
WYMV-Hy	茨城県東町	6/11	0/14	8/14	I
WYMV-Ku	茨城県河内町	9/11	1 <sup>b)</sup> /11	14/14	I
WYMV-Tu	三重県津市	19/20	0/21	8/14	I
WYMV-Un	三重県一志郡嬉野町	14/14	1 <sup>b)</sup> /14	14/15	I
WYMV-Ht	滋賀県愛知郡秦荘町	19/19	0/21	9/20	I
WYMV-Kt	滋賀県愛知郡湖東町	9/14	0/13	1/12	I
WYMV-Yt	福岡県山門郡	14/14	3/14	13/14	III

a) ELISA で WYMV 陽性の個体数/供試個体数

b) 無病徴感染

b) を除く全ての WYMV 陽性個体で発病が認められた。

## 日本国内の WYMV の病原型の発生実態

### 1. 国内の主要なコムギ縞萎縮病発生地から採取した WYMV 株の病原型の判別

前章までで、判別品種と主要育種場所の特性検定圃場における WYMV の病原型の対応関係を明らかにした。

本章では、日本各地で発生している WYMV 株について、各特性検定圃場の WYMV と共通の抵抗性遺伝資源により整理して病原型を明らかにし、各病原型の分布状況を明らかにするために、コムギ縞萎縮病発生地から罹病植物を収集し、判別品種に対する反応を調べた。

#### 1) 材料および方法

収集した WYMV 株の一覧を表9に示した。各地より採取した WYMV 罹病葉は、DN 法による電子顕微鏡下でのウイルス粒子の確認、および ELISA での WYMV の感染の確認と SBWMV の混合感染の確認をおこなった。SBWMV 混合感染株は、前節同様に継代処理をした。その後、採取した品種に接種して発病させたものを接種源として直ちに判別

品種へ接種した。感染葉を - 80 °C で保存した場合は、採取した品種へ一旦接種し発病させたものを接種源として判別品種へ接種した。接種方法および判定方法はII章2節と同じである。

#### 2) 結果

各地の分離株の中、北海道内2株、青森県1株、岩手県7株はすべて、「フクホコムギ」をおかさず、「ナンブコムギ」をおかした。一方、宮城県以南から採集した WYMV 株は、すべて「フクホコムギ」をおかした。また、いくつかの WYMV 株では、接種した「北海240号」から WYMV が検出されたが、福岡県で採取された Yt 株以外で同品種を発病させた株はなかった(表9)。

Yt 株は、抵抗性品種である「シロガネコムギ」の発病株から分離された。「シロガネコムギ」の抵抗性は、「シラサギコムギ」に由来すると推定され、また、現在九州を中心に普及する「チクゴイズミ」の抵抗性は、「関東107号」に由来すると推定される。そこで、T 株を I 型の対照として、おなじ九州の I 型株である K 株と Yt 株の間で「シラサギコムギ」と「関東107号」に対する病原性の異同を調

表 10 品種「シラサギコムギ」「関東 107 号」の福岡県で採取された WYMV 株に対する反応

(WYMV株名)	シラサギコムギ			関東107号			フクホコムギ		
	WYMV検出	発病	病徴	WYMV検出	発病	病徴	WYMV検出	発病	病徴
WYMV-Yt	5/6, 5/6	5/6, 5/6	D, YM, N	6/6, 5/6	6/6, 5/6	D, YM, N	5/6, 4/6	5/6, 4/6	D, YM
WYMV-K	6/6, 5/6	6/6, 5/6	D, YM	3/5, 5/5	3/5, 5/5	D, YM	5/6, 5/6	4/6, 5/6	D, YM
WYMV-T (I型対照株)	4/6, 3/6	4/6, 2/6	D, YM	1/5, 2/5	0/5, 2/5	D, YM	4/6, 6/6	4/6, 6/6	D, YM

試験は 2 回行った。数値は、各回の WYMV 検出 (WYMV 陽性個体数/ELISA 検定個体数)、発病 (発病個体数/接種個体数) を表す。病徴の記号は、以下、YM: モザイク状の黄化症状、N: 壊死斑、D: 萎縮症状が認められたことをあらわす。

「フクホコムギ」は I 型に対する罹病性の対照品種である。

WYMV-Yt 株は福岡県山門郡、WYMV-K 株は福岡県筑後市九州沖縄農業研究センターにて、それぞれ採取された。

表 11 「北海 240 号」に対する福岡県から採取された WYMV 株の病原性

(WYMV株名)	北海240号		フクホコムギ(陽性対照)	
	WYMV検出 <sup>a)</sup>	発病 <sup>b)</sup>	WYMV検出	発病
WYMV-Yt	5/6, 3/7	1/6, 2/7	5/6, 6/6	5/6, 4/6
WYMV-K	0/7, 0/8	0/7, 0/8	5/5, 5/6	4/5, 4/6

WYMV-Yt 株は福岡県山門郡、WYMV-K 株は福岡県筑後市九州沖縄農業研究センターにて、それぞれ採取された。

a) ELISA で陽性の個体数/供試個体数

b) 発病個体数/接種個体数

べた。さらに、K 株を対照として、改めて「北海 240 号」に対する病原性を調べた。その結果、Yt 株は「シラサギコムギ」と「関東 107 号」に対して、T 株や K 株では見られない壊死斑を伴う激しい病徴を生じさせて高率に検出され、これら 2 品種に対する病原力が異なることが示された (表 10)。また、Yt 株は、「北海 240 号」から高率に検出され、同品種に明瞭な病徴を生じさせることから、K 株をはじめ他の分離株とは病原性が異なることが改めて確認された (表 11)。

### 3) 考 察

本試験で、日本各地の主要な縞萎縮病発生地から採取した WYMV 株は、検定圃場の WYMV 株同様に、「フクホコムギ」に対する病原性の有無により、I 型、II 型に類別することができた。さらに、福岡県において、抵抗性の「シロガネコムギ」の発病株から採取された Yt 株は、本試験で供試した株で唯一「北海 240 号」を発病させたことから、III 型として類別した。以上、現時点で日本国内の WYMV の病原性は、「フクホコムギ」と「北海 240 号」に対する病原性の有無により三つのタイプに分けられることが明らかとなった (表 12)。「北海 240 号」は、主要検定圃場の株でこれをおかすものはなかった。

表 12 判別品種の反応を基にしたコムギ縞萎縮ウイルス (WYMV) 病原型類別体系

判別品種名	判別品種名		
	ナンブコムギ	フクホコムギ	北海240号
I 型 (WYMV-T 株タイプ)	<sup>a)</sup> S	S	<sup>b)</sup> R
II 型 (WYMV-M 株タイプ)	S	R	R
III 型 (WYMV-Yt 株タイプ)	S	S	S

a) S: 罹病性 (WYMV に感染し、かつ、明瞭な病徴を生じる)

b) R: 抵抗性 (WYMV に感染しないもの、および発病しない)

しかし、一般圃場からの分離株の中には、北海 240 号が感染する株も存在した。ただし、Yt 株以外では、ELISA で陽性であっても発病を認めなかったことから、広い地域で抵抗性遺伝資源として利用可能と考えられた。

「シラサギコムギ」に由来すると推定される抵抗性を有する「シロガネコムギ」の一般農家圃場における縞萎縮病の発生報告は今回が初めてである。「シラサギコムギ」は T 株に感染し、I 型に対して完全な抵抗性ではないことが接種試験で確認された。本試験では、「シラサギコムギ」と「関東 107 号」は Yt 株と K 株にも感染した。しかし、「シラサギコムギ」と「関東 107 号」は Yt 株に高頻度に感染し、壊死斑を伴う激しい全身のモザイク症状を呈し、T 株、K 株に対する反応とは異なった。したがって、Yt 株は他の I 型に比べて、これらの品種に対してより強い病原力を有することが示唆された。

## 2. WYMV 型汚染地域の主要作付け品種の抵抗性

柏崎 (2000) によれば、BaYMV の病原型と過去の作付け品種の抵抗性の間に関係が認められるという。前節で、コムギ縞萎縮病の場合、I 型が採取された地域は、現在までの作付け品種の主体が「農林

表 13 過去に北海道において作付けされた主要品種の WYMV-T 株, M 株に対する反応

品種名	WYMV-T株				WYMV-M株			
	反復1	反復2	反復3	反復4	反復1	反復2	反復3	反復4
	タクネコムギ	a) 1/2	1/1	3/3	2/2	3/3	0/4	3/3
ホロシリコムギ	2/4	2/4	2/3	3/4	3/4	2/2	0/1	0/3
タイセツコムギ	2/4	2/4	1/4	2/4	2/4	1/4	3/4	2/4
チホクコムギ	2/4	4/4	3/4	1/4	1/3	2/3	2/3	3/4
フクホコムギ (T株感受性対照)	3/3	3/2	4/4	0/3	-	-	-	-
ナンブコムギ (M株感受性対照)	-	-	-	-	3/4	2/4	2/4	3/4

品種名	WYMV-T株				WYMV-M株			
	反復1	反復2	反復3	反復4	反復1	反復2	反復3	反復4
	タクネコムギ	b) 1/2	1/1	3/3	2/2	3/3	0/4	3/3
ホロシリコムギ	2/4	2/4	2/3	3/4	0/4	2/2	0/1	0/3
タイセツコムギ	2/4	1/4	2/4	3/4	2/4	1/4	3/4	2/4
チホクコムギ	2/4	4/4	2/4	1/4	1/3	2/3	2/3	3/4
フクホコムギ (T株感受性対照)	2/3	2/3	4/4	0/3	-	-	-	-
ナンブコムギ (M株感受性対照)	-	-	-	-	3/4	2/4	2/4	3/4

a) ELISAでWYMV陽性個体数/供試個体数, -は試験無し

b) 発病個体数/調査個体数, -は試験無し

一鉢4粒ずつ播種したが、発芽の不揃いにより接種個体数に違いを生じた。

61号]あるいは「フクホコムギ」であることからⅡ型が採取されなかったと説明できる。一方で、岩手県以北からはⅠ型、Ⅱ型双方に罹病性の「ナンブコムギ」, 「ホクシン」からⅡ型のWYMV株のみが採取されている。岩手県および青森県南部のⅡ型を採取した地域では、数十年に渡り「ナンブコムギ」が作付けされているが、北海道では、数品種の変遷がある。これらの品種のⅠ型とⅡ型に対する反応は不明である。Ⅱ型汚染地域の作付け品種と病原型の関係を調べるために、北海道の過去の作付け品種のⅠ型、Ⅱ型に対する反応を調べた。

#### 1) 材料および方法

供試した品種は、過去に北海道で大規模に作付けされていた「タクネコムギ」, 「ホロシリコムギ」, 「タイセツコムギ」, 「チホクコムギ」である。Ⅰ型、Ⅱ型に対する罹病性対照品種として「フクホコムギ」, 「ナンブコムギ」をそれぞれに用いた。接種したWYMV株は、Ⅰ型としてT株、Ⅱ型としてM株を用いた。各品種を1鉢当たり4粒ずつ播種し、3葉期まで育てた。この幼植物に各株を汁液接種し、7日おきに発病を調査し、発病株率が安定した段階で地上部からのWYMVの検出を試みた。接種方法、調査時期は、本章3節と同様の方法でおこなった。

感染の確認のELISAも本章3節と同様におこなった。試験は4反復で行い、各反復内では接種する品種の順番を無作為化した。

#### 2) 結果

供試した「タクネコムギ」, 「ホロシリコムギ」, 「タイセツコムギ」, 「チホクコムギ」は、いずれもⅠ型(T株)、Ⅱ型(M株)に罹病性であった(表13)。

#### 3) 考察

日本各地のBaYMVの病原型の分布について、柏崎(2000)は、それぞれの地域で長年栽培された麦種・品種に対する病原性を有する系統が分布していると指摘している。岩手県以北および北海道からは、いずれもⅡ型のみが採取された。この地域で過去に作付けされていた品種は、汁液接種による抵抗性検定の結果、すべてⅠ、Ⅱの両型に罹病性であった。したがって、この結果からは、Ⅰ型が採取されてもよいはずである。Ⅰ型が採取されない原因としては、①これらの地域にⅠ型の移入が起こっていない、あるいは、②Ⅰ型が出現したが何らかの理由により定着、優占しなかったことが考えられる。

### V 総合考察

コムギ縞萎縮病は、土壌中の原生生物 *Polymyxa*

*graminis*により媒介されるが、媒介者の薬剤による駆除が容易でないこと、田畑輪換や輪作等では防除できないことから、防除法としては、抵抗性品種と耕種的防除法が主体とならざるをえない状況にある。しかし、抵抗性品種の利用に当たって、WYMVの病原性の分化や有効と考えられる抵抗性品種との関係は明らかではなかった。日本国内のWYMVについては、和田・深野(1936)や斉藤・岡本(1964)によるWYMVの病原性類別の試みがあったが、抵抗性反応の不安定さから抵抗性品種の育成に利用されるに到らなかった。中華人民共和国では、Chen *et al.* (2000)は、病徴とELISAによる診断により、病原性の異なる分離株の存在を報告し、さらにそれぞれのWYMV株の遺伝子の全塩基配列を比較した。しかし、この報告も圃場での自然発病によるものであり、1作期だけの試験であるため、斉藤・岡本(1964)が指摘した年次間や試験地間の環境条件の違いによる品種反応の不安定さという要素は排除されていない。接種試験の導入により自然発病試験における評価の不安定要素を排除し、ウイルスの検出頻度も検討した病原性の類別の試みは、Kusume *et al.* (1997)が北海道千歳市で分離したWYMV株について病原性が異なるとした報告が最初であった。

こうした中、本研究において、著者は、温度条件を5℃にすることによる効率的接種試験条件を明らかにした。その条件下で、初めて、接種試験により判別品種により病原性を病原型として整理し、同一の環境下で日本各地のWYMV株を比較することに成功した。本章では、抵抗性品種の育成に向け、WYMVの病原性の類別とWYMVの病原性分化について包括的に論ずる。

#### 1. WYMVの病原型に基づく抵抗性品種育成の有効性

コムギ縞萎縮病抵抗性品種の育成において、病原ウイルスの病原性の違いとそれに対応する抵抗性遺伝資源の関係の整理が必要であるという問題は、古くから認識されていた(和田・深野1936, 1937, 斉藤・岡本1964)。

この問題は、WYMVと同じ*Baymovirus*属のBaYMVで、まず整理された(宇杉ら1985)。宇杉ら(1985)は、いくつかの判別品種の反応の違いから「病原型」という表現を用いBaYMVの病原性の類別をおこなった。そこで、本研究でも、こう

したBaYMVの研究例に倣い、抵抗性品種の育成のためにWYMV分離株の病原性を、判別品種の反応の違いに基づいて病原型として類別することとした。結果として「フクホコムギ」と「北海240号」を判別品種に選定し、国内の主要なコムギ産地から分離したWYMV株をこの判別品種により類別し、供試したすべてのWYMV株は「フクホコムギ」に対する病原性の有無から二つに分けられることを示し、これらをI型、II型とした。さらに、「北海240号」をおかす株が一部得られ、これを代表株として、「北海240号」を判別品種としてIII型を設け、合計3個の病原型に分けた。抵抗性の評価時の混乱を避けるために、抵抗性の定義としては、ウイルスが検出されないことを基本とした。ただし、I型に対してWYMVが検出されない抵抗性遺伝資源が得られていない現状から、「北海240号」における無病徴感染は抵抗性反応として病原型を類別することとした。病原型は、自然分類とは異なり、あくまで抵抗性育種のための便宜的類別基準であり、ある病原型は、それに対して有効な抵抗性遺伝子(群)の違いにより類別されたウイルス系統の集合である。したがって、ある品種の反応により類別された一つの病原型の中にさらに他の品種に対する反応の違いにより分けられるグループが存在する可能性は高く、宇杉ら(1985)により最初に3つ分けられたBaYMVの病原型は、さらに6個の型に細分化されている(柏崎2000)。コムギにおけるWYMVについても、BaYMVと状況は同じである。今後、新たな抵抗性遺伝資源が見つけれられたり、抵抗性遺伝子の解析が進むことで、これら病原型を整理し直す必要もあるが、現時点では明確な類別ができたと考ええる。

BaYMVの病原型とオオムギが持つ縞萎縮病抵抗性遺伝子との関係については、これまで詳しく研究されており(Kashiwazaki *et al.* 1989, 小川ら1995)、オオムギ縞萎縮病では、それぞれのウイルスの病原型に対応した抵抗性品種の育成、抵抗性遺伝子の解析も進んでいる(飯田ら1992, Konishi *et al.* 1997, 2002)。一方、WYMVに関しては、ようやく研究が緒についたところである。WYMVのI型とII型をウイルスの増殖の有無により分けることができる「フクホコムギ」の抵抗性遺伝子について、八田ら(Hatta *et al.* 1997)は、「フクホコムギ」と「ナンブコムギ」の交配によりF<sub>2</sub>染色体倍加系統

(DHLs) を作成し解析した結果、少なくとも3ないし4個の劣性の抵抗性遺伝子が関与することを明らかにした。この DHLs の中には、東北農業研究センター圃場で様々な強さの抵抗性を示す系統が含まれていた。このことは、抵抗性遺伝子の集積が縮萎病抵抗性育種において有効な育種戦略であることを表し、さらに、作用の小さな抵抗性遺伝子であっても、その種類と集積によっては ELISA でウイルスが検出できない高度な抵抗性をもたらす可能性を示した。一方、「北海 240 号」をはじめ他の抵抗性品種が持つ抵抗性遺伝子については、その数や遺伝様式は不明なままであり、その解析が待たれる。

抵抗性遺伝子の解析と集積のためには、抵抗性の違いを定量的に評価する方法も必要となる。今後、抵抗性を効率よく新品種に取り込むためには、抵抗性遺伝子の特定とマーカーの開発と同時に、抵抗性の評価法の改良も必要であると考えられる。

## 2. WYMV の病原性分化と抵抗性品種との関係

抵抗性とウイルスの病原性の関係で最も問題となるのは、抵抗性の崩壊である。これは、ウイルス遺伝子の変異により新たな系統が出現したり、既にウイルス集団の中で潜在的な存在だった系統が抵抗性品種の変遷により顕在化する正の淘汰により起こると考えられる。BaYMV においては、作付されてきた品種や麦種の抵抗性の変遷によると考えられるウイルスの病原性の分化について報告されている例がいくつかある(柏崎 2000)。しかし、ある病原型の BaYMV に汚染されている圃場にその病原型に対する抵抗性品種を導入したところ、同じ作期にすでにその抵抗性品種をおかす新たな病原型の発生が認められた例があり(小川ら 1995)、オオムギ縮萎病についても抵抗性の崩壊と品種・麦種の変遷との関係にはまだ不明な点が多い。

コムギ縮萎病については、病原型の分布と品種の関係について、本研究において初めて議論が可能な結果が得られた。本研究において、WYMV の病原型の分布で特徴的なのは、宮城県から南のほとんどの地域からは「フクホコムギ」を侵すことの出来る I 型と III 型が採取され、岩手県以北からは主に II 型が採取されていることである。関東以西は、採取した品種が主に「フクホコムギ」と同程度に II 型抵抗性の「農林 61 号」であったため、II 型は採取されなかったと考えられる。唯一、宮城県で I 型、II 型の両方に罹病性の「シラネコムギ」から採取した

Hz 株は、I 型であった。ただし、この地区ではかつて「フクホコムギ」が作付けされていたことが、現地農家からの聞き取りによりわかっている。したがって、宮城県以南の I 型地域は、過去に、あるいは現在も、II 型に抵抗性の「農林 61 号」か「フクホコムギ」が栽培されており、このために、それをおかす I 型が主である可能性がある。

福岡県で分離された III 型の病原性を示す Yt 株は、「シラサギコムギ」に強い病原性を示した。この地方では、「シラサギコムギ」の後代に当たる「シロガネコムギ」が早くから抵抗性品種として栽培されており、このために、これをおかす系統が優占しつつある可能性が疑われる。今後、「シロガネコムギ」が栽培されている地域での縮萎病の発生動向に注意が必要である。

一方、岩手県以北の II 型のみ採取された地域の過去の主要品種は、「タクネコムギ」、「ホロシリコムギ」、「タイセツコムギ」、「チホクコムギ」、「ナンブコムギ」であった。これらの品種は、汁液接種試験においては、I 型と II 型の双方に罹病性であるから、I 型が存在してもよいはずである。ところで、II 章 2 節で明らかにしたように、「ナンブコムギ」は「フクホコムギ」に比べて、I 型である T 株に対する罹病性が、5℃よりも 10℃で極端に低くなる傾向がある。「ナンブコムギ」は、II 型の病原性を示す M 株を接種したときも、10℃での罹病性の低下は認められるが、T 株に対するほど大きな低下ではないと考えられた。*P. graminis* のコムギ根への侵入は、13℃~15℃で最も盛んであり 6℃ではほとんど認められない(大藤・石黒 2004)ことを考え合わせると、*P. graminis* の活動が最も活発な温度範囲でウイルスの増殖が不活発であることは、自然発病下では、M 株に比べて T 株で「ナンブコムギ」における感染効率が低くなることを想像させる。したがって、こうした「ナンブコムギ」に認められる一種の抵抗性反応は、I 型と II 型の共存下では、I 型の病原性を示す株の圃場における生存を II 型の病原性を示す株に比べて不利にしている可能性がある。北海道や岩手県の歴代の主要品種が I 型の病原性を示す株に対して同様の反応を示すために、I 型が優占し難い状況がある可能性もある。

品種抵抗性に関与する WYMV 側の要因についても、研究が緒についたばかりである。抵抗性品種の罹病化の機作を探る上でも、抵抗性の機作とともに、



ウイルスの病原性の分化機構の解明は、今後の重要な課題と考えられる。

今後、WYMVの病原性分化機構の解明や、圃場におけるWYMVの個体群の動態に関する研究が進めば、効率的で実効性のある抵抗性品種の導入が可能となる。さらに、作付け圃場の縞萎縮病の発病歴や、作付け品種の抵抗性などの情報を把握することにより発病のリスクを予想でき、播種時期の移動などの耕種的防除技術を組み合わせた総合的な防除が可能となる。

## 摘 要

コムギ縞萎縮病は、土壌伝染性のウイルス病害である。本病は、90年以上前に我が国で初めて報告された。これまで、主に抵抗性品種の導入や国内の作付けの減少により小康状態にあった。しかし、近年国内の作付けが促進される一方で、新たな抵抗性品種の普及は遅れている。50年以上前に抵抗性品種として育成された「農林61号」は、現在では罹病化しているにもかかわらず、依然として西日本の主要品種である。このようなコムギ生産を取り巻く環境のもと、縞萎縮病は我が国のコムギ生産の障害となっている。病原であるコムギ縞萎縮ウイルス(WYMV)自体や基本的な発生生態については研究されてきたが、抵抗性の品種を育成するうえで必須となるウイルスの病原型の整理は行われていなかった。結果として、WYMVの病原型を考慮した品種育成は行われてこなかった。

本研究は、コムギ縞萎縮病に対する抵抗性品種の開発に資するためにおこなった。そのために、はじめに、WYMV抵抗性の接種検定の条件を検討し、これまで明らかでなかった病原性系統の存在を明らかにした。ついで、抵抗性遺伝資源を明らかにして、判別品種による類別を行った。最後に、主要なコムギ品種育成場所の検定圃場および国内の主要な縞萎縮発生地から採取したWYMV分離株の病原型を類別し、各病原型の分布状況を明らかにした。

### 1. WYMV 系統存在の確認

宇杉・斉藤(1976)が茨城県石岡市で分離した日本の標準株であるWYMV-T株と東北農業研究センター圃場から分離したWYMV-M株との間で、病原性に違いがあるかを接種試験により確認した。その結果、T株は、品種「フクホコムギ」、「早熟赤毛」を侵すが、M株は両品種を侵さず、系統の分

化が確認された。

### 2. WYMV に対するコムギ品種の抵抗性反応に及ぼす気温の影響

「ナンプコムギ」と「フクホコムギ」のT株とM株に対する抵抗性反応が、10℃と5℃で異なるかを調べた。「フクホコムギ」はT株に対して5℃と10℃で罹病性であった。「ナンプコムギ」は5℃では罹病性、10℃では抵抗性であった。「フクホコムギ」はM株に対して5℃と10℃で全くウイルスが検出されず免疫性を示したが、「ナンプコムギ」はM株に対して両温度で罹病性であった。これら品種がいずれの分離株に感染しても、感染株率、発病株率、発病程度はいずれも5℃下の方が10℃下に比べて高かった。この結果から、気温が品種の抵抗性反応に影響を及ぼすこと、またその影響の受け易さは品種により異なることが示唆された。また、本試験からは、5℃の低温条件の持続が、高いウイルス検出率と病徴発現の促進をもたらすことが示唆された。

### 3. 抵抗性遺伝資源を用いたWYMV病原型の判別品種体系の確立

汁液接種による検定を基本として、①判別品種体系と病原型の決定、②主要検定圃場から分離したWYMV株の病原型の決定とそれらに対する抵抗性遺伝資源の提示、を試みた。

はじめに、54品種から、判別品種を選抜した。WYMVの病原型は、「フクホコムギ」または「早熟赤毛」に対する病原性の有無により、2つの系統に類別が可能と考えられた。さらに、「北海240号」は、いずれの系統にも抵抗性遺伝資源となりうることが明らかになった。

ついで、国内の主要な3か所のWYMV抵抗性検定圃場から採取したWYMV株の病原型の判別を、これらの判別品種を用いておこなったところ、「フクホコムギ」を侵すが「北海240号」を侵さないI型、「フクホコムギ」および「北海240号」両品種を侵さないII型の二つに類別された。

### 4. 判別品種体系に基づく日本各地のWYMV株の病原型の類別

日本各地のコムギ縞萎縮病発生地からWYMV株22株を収集し、判別品種に対する反応を調べた。その結果、岩手県以北からは、II型のみが採取された。宮城県以南は、ほとんどI型が採取された。唯一、福岡県から、「北海240号」を侵す株(Yt株)

が採取され、これをⅢ型とした。Ⅲ型株である Yt 株は、「シロガネコムギ」を含む西日本向けの抵抗性品種の遺伝資源と推定される「関東 107 号」と「シラサギコムギ」を激しく侵した。

#### 5. Ⅱ型汚染地域の主要作付け品種の抵抗性

岩手県以北からⅠ型が採取されないこととこの地域での過去の作付け品種との関係を探る目的で、Ⅱ型汚染地域の主要な作付け品種のⅠ型株（T 株）に対する抵抗性を汁液接種により調べた。その結果、「ナンプコムギ」はもとより「タクネコムギ」、「ホロシリコムギ」、「チホクコムギ」、および「タイセツコムギ」はすべてⅠ型感受性であり、この結果からⅠ型がこの地域から採取されない理由は不明であった。

### 引用文献

- 1) Chen, J.; Chen, J.-P.; Yang, J.-P.; Cheng, Y.; Diao, A.; Adams, M. J.; Du, J. 2000. Differences in cultivar response and complete sequence analysis of two isolates of *wheat yellow mosaic bymovirus* in China. *Plant Pathology* 49 : 370-374.
- 2) 千葉恒夫, 小川奎, 渡辺健, 飯田幸彦. 1987. コムギ縞萎縮病に対する品種抵抗性の差違. 関東東山病虫研報 34 : 25-26.
- 3) Clark, M. F.; Adams, A. N. 1977. Characteristics of the microplate method of enzyme-linked immunosorbent assay for the detection of plant viruses. *J. Gen. Virol.* 34 : 475-483.
- 4) Hatta, K.; Ohto, Y.; Nakamura, K.; Ito, S.; Yoshikawa, R. 1997. Inheritance of resistance to *wheat yellow mosaic virus* (WYMV) in doubled haploid lines of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Proceedings of the 9th International Wheat Genetics Symposium* 3 : 276-278.
- 5) 飯田幸彦, 渡辺健, 戸嶋郁子, 小川奎. 1992. オオムギ縞萎縮ウイルス系統に対する大麦品種の抵抗性反応. *育種学雑誌* 42 : 863-877.
- 6) 鑄方末彦, 河合一郎. 1940. コムギ縞萎縮病に関する研究. *農事改良資料* 154 : 1-123.
- 7) 石川喜三郎, 野津原通, 西村春次. 1935. 小麦の育種試験に於けるモザイク病抵抗性の検定. *農業及び園芸* 10 : 2389-2396.
- 8) 柏崎 哲. 2000. オオムギ・コムギ縞萎縮病. *農業および園芸* 75 : 141-146.
- 9) Kashiwazaki, S.; Ogawa, K.; Usugi, T.; Omura, T.; Tsuchizaki, T. 1989. Characterization of several strains of *barley yellow mosaic virus*. *Ann. Phytopathol. Soc. Japan* 55 : 16-25.
- 10) Konisi, T.; Ban, T.; Iida, Y.; Yoshimi, R. 1997. Genetic analysis of disease resistance to all strains of BaYMV in a chinese barley landrace, Mokusekko 3. *Theor. Appl. Genet.* 94 : 871-877.
- 11) Konishi, T.; Ordon, F.; Furusho, M. 2002. Reactions of barley accessions carrying different rym genes to BaYMV and BaMMV in Japan and Germany. *Barley Genetics Newsletter* 32 : 46-48.
- 12) Kusume, T.; Tamada, T.; Hattori, H.; Tsuchiya, T.; Kubo, K.; Abe, H.; Namba, S.; Tsuchizaki, T.; Kishi, K.; Kashiwazaki, S. 1997. Identification of a new *wheat yellow mosaic virus* strain with specific pathogenicity towards major wheat cultivars grown in Hokkaido. *Ann. Phytopathol. Soc. Japan* 63 : 107-109.
- 13) 三宅瑞穂. 1938. 小麦品種の萎縮病抵抗性が土中病原体に及ぼす作用に就いて. *農業及び園芸* 13 : 2457-2464.
- 14) 小田俊介, 柏崎 哲. 1989. コムギ縞萎縮・ムギ類萎縮ウイルス抵抗性検定と抵抗性の系譜的考察. *NARC 研究速報* 6 : 1-6.
- 15) 小川奎, 渡辺健, 飯田幸彦, 千葉恒夫, 山崎郁子, 柏崎哲, 土崎常男. 1995. 茨城県におけるムギ類の土壤伝染性ウイルス病の発生生態と防除に関する研究. 第1報 病原ウイルスの系統と発生生態. *茨城農総七農研研報* 2 : 1-52.
- 16) 大藤泰雄, 石黒潔. 2004. コムギ縞萎縮ウイルス (WYMV) を保毒する *Polymyxa graminis* 休眠胞子が圃場で増加する時期の推定. *北日本病虫研報* 55 : 59-63.
- 17) 斉藤康夫, 高梨和雄, 岩田吉人, 岡本 弘. 1964a. 土壤伝染性ムギウイルス病に関する研究. I 病原ウイルスの諸性質. *農技研報告* C17 : 1-22.
- 18) 斉藤康夫, 岡本 弘. 1964. 土壤伝染性ムギウイルス病に関する研究. V 品種抵抗性の検定. *農技研報告* C17 : 75-102.
- 19) 沢田栄寿. 1927. 小麦縞萎縮病予防に就いて.

- 病虫雑 14 : 444-449.
- 20) 宇杉富雄, 齊藤康夫. 1976. オオムギ縞萎縮ウイルスおよびコムギ縞萎縮ウイルスの純化と血清学的特徴. 日植病報 42 : 12-20.
- 21) 宇杉富雄, 桑原達雄, 土崎常男. 1984. 酵素結合抗体法 (ELISA) によるオオムギ縞萎縮病, コムギ縞萎縮病およびムギ類萎縮病の血清学的診断. 日植病報 50 : 63-68.
- 22) 宇杉富雄, 柏崎哲, 土崎常男. 1985. オオムギ縞萎縮ウイルスの系統について. 関東東山病虫研報 32 : 53-55.
- 23) 和田榮太郎, 深野 弘. 1935a. エローモザイクに対するコムギ品種の抵抗性. 農業及び園芸 10 : 153-164.
- 24) 和田榮太郎, 深野弘. 1935b. 本邦各地土壤に於けるコムギモザイク病原の分布. 農業及び園芸 10 : 1748-1752.
- 25) 和田榮太郎, 深野弘. 1935c. 小麦品種のグリーンモザイク抵抗性とエローモザイク抵抗性の差別に依る両病型の検定. 農業及び園芸 10 : 1738-1747.
- 26) 和田榮太郎, 深野弘. 1936. 小麦 yellow mosaic 病に於ける系統の存在. 農業及び園芸 11 : 2697-2702.
- 27) 和田榮太郎, 深野弘. 1937. 小麦モザイク病の種類と其差異並に判別法に就て. 農事試彙報 3 : 93-124.

## Studies on the Pathotypes of Japanese Isolates of *Wheat Yellow Mosaic Virus* and Their Distribution in Japan

Yasuo OHTO

### Summary

Wheat yellow mosaic is a soil-borne viral disease. This disease was first reported in Japan over 90 years ago. Though the area of land used for domestic wheat production has increased recently, the major cultivars being planted are still susceptible to the disease. For example, the cultivar “Norin 61,” which was developed as a resistant cultivar over 50 years ago and is still one of the leading varieties in most western prefectures, has become susceptible. Under such circumstances, yellow mosaic disease of wheat is an obstacle to increased wheat production in Japan. Resistant cultivars are the most effective countermeasure to wheat yellow mosaic disease. It has been speculated that there are strains of WYMV with different levels of pathogenicity. However the difficulty in comparing the pathogenicities of WYMV isolates has prevented breeders from investigating the problem. The pathogen *Wheat yellow mosaic virus* (WYMV) and the basic ecological aspects of the disease have been studied. However, the pathogenicities of different virus strains, which is essential knowledge for the breeding of resistant cultivars, has not been determined. Consequently, up until now, differences in the pathogenicities of viral strains have not been considered in breeding programs.

In this study, I first present details about the inoculation tests to check the resistance of wheat cultivars to WYMV. Secondly, I determined differences in the pathogenicity of Japanese WYMV isolates based on their ability to infect different cultivars selected from resistant gene resources. Finally, the pathogenicities of WYMV isolates from the principal areas infested with WYMV in Japan were determined using differential cultivars.

#### 1) Confirmation of the presence of pathotypes in WYMV

The difference in pathogenicity between two WYMV isolates (WYMV-T from Ibaraki prefecture and WYMV-M from Iwate prefecture) was confirmed by determining the resistant reaction of some wheat cultivars employing mechanical inoculation under a controlled climate. WYMV-M did not infect cultivars “Fukuhokomugi” and “Soujyukuakage,” whereas WYMV-T did infect these cultivars. This showed the presence of WYMV strains with different pathogenicities.

#### 2) The effects of temperature on the resistant reaction of wheat cultivars to WYMV

It has been reported that the resistant reaction of some wheat cultivars including “Nanbukomugi” in the infested soil taken from same field was different between northern and southern Japan. The winter climate, especially in terms of temperature, is very different between the two areas. The effects of temperature on the resistant reaction of wheat cultivars were investigated by using two wheat cultivars (“Nanbukomugi” and “Fukuhokomugi”) and two WYMV strains (WYMV-T, and -M). The reactions of those two cultivars to the two WYMV isolates were compared at 5 °C and 10 °C. “Fukuhokomugi” was susceptible to WYMV-T both at 5 and 10 °C, while “Nanbukomugi” was resistant to WYMV-T at 10 °C

but not at 5 °C. “Fukuhokomugi” showed immunity both at 5 and 10 °C to WYMV-M, while “Nanbukomugi” was susceptible both at 5 and 10 °C. When a cultivar showed susceptibility to any of the WYMV isolates, virus incidence and disease severity were higher at 5 °C than 10 °C. These results suggest that temperature affects the reaction of wheat cultivars to WYMV, and that the effect of temperature is different between cultivars. It was also suggested that continuous low temperature (5 °C) after mechanical inoculation could promote symptom expression in susceptible cultivars. Consequently, this temperature is recommended when the resistance of wheat cultivars to WYMV is assessed.

### **3) The establishment of a differential cultivars system using resistant gene resources to discriminate the pathogenicity of WYMV strains**

Based on the resistant reaction to mechanically inoculated WYMV isolates, the three cultivars “Fukuhokomugi,” “Soujyukuakage,” and “Hokkai 240” were selected from 54 cultivars as differential cultivars that can discriminate the pathogenicity of two WYMV isolates (WYMV-T and WYMV-M). Cultivars “Fukuhokomugi” and “Soujyukuakage” showed resistance to WYMV-M, but were susceptible to WYMV-T. Cultivar “Hokkai 240” showed resistance to both isolates.

In the next part of the study, the pathogenicities of Japanese WYMV isolates from three principal test fields for WYMV resistance were tested against differential cultivars. A total of five isolates including WYMV-T and -M were divided into two types. Type I (which included isolate WYMV-T) can infect “Fukuhokomugi” and “Nanbukomugi” but “not Hokkai 240”. Type II (which included isolate WYMV-M) can infect “Nanbukomugi” but not infect “Fukuhokomugi” or “Hokkai240”.

### **4) Classification of Japanese WYMV isolates into three types based on the reaction of the differential cultivars**

A total of 22 WYMV isolates were collected from Hokkaido to Kyushu. Their pathogenicities were classified into types based on their pathogenicity to the differential cultivars. All the isolates from the northern prefectures (Iwate, Hokkaido, Aomori) were classified as Type II. All the isolates from south of Miyagi prefecture were classified as Type I except isolate WYMV-Yt from Fukuoka prefecture. WYMV-Yt was collected from the resistant cultivar “Shiroganekomugi.” It was classified as Type III because it can infect “Hokkai 240.” This isolate can also severely infect “Kanto 107” and “Shirasagikomugi,” which are supposed to be resistant gene resources for resistant cultivars for western Japan.

### **5) The resistance of cultivars that had been cropped in the area where only WYMV Type II was isolated**

It was reported in *Barley yellow mosaic virus* (BaYMV) that the dominant type of BaYMV in an area and the resistance of cultivars cropped in the area were closely related. In the case of WYMV, cultivars resistant to Type II (mainly “Norin 61” and “Fukuhokomugi”) were cropped in areas where only WYMV Type I was isolated. However, the resistance to Type I was not clear in cultivars which had been cropped in the area where only Type II was isolated. To clarify the relationship between the distribution of WYMV types and the resistance of cultivars cropped previously, four cultivars (“Takunekomugi,” “Horoshirikomugi,” “Chihokukomugi,” and “Taisetukomugi”) cropped in Hokkaido prefecture, and “Nanbukomugi” cropped in Aomori and Iwate prefectures were tested for their resistance to WYMV Type I (isolate WYMV-T) in mechanical inoculation tests. All cultivars tested were susceptible to Type I in the mechanical inoculation test. From this result, it is difficult to determine why WYMV Type I was not collected from Hokkaido, Aomori and Iwate prefectures.

## 不耕起ダイズ栽培における雑草の生態と耕種的防除

小林 浩 幸\*<sup>1)</sup>

**抄 録**：作業性向上，地力維持などの観点から将来的に期待されるダイズの不耕起栽培において，効果的・安定的な雑草防除体系を確立するためには，不耕起栽培で優占する雑草の種類とその生態を明らかにすることが必要である。本研究では，第一に耕起栽培との比較から不耕起栽培で問題となる雑草種を特定し，その発生生態を明らかにした。第二にそれらの知見に基づき耕種的防除技術として冬作カバークロープの活用を提案し，その有用性を検証した。

試験の結果，ダイズの不耕起栽培では一年生のイネ科雑草の出芽数が増加し，優占する傾向にあることがわかった。そして，イネ科のなかで最も重要な雑草であるメヒシバのシードバンク（土壌中と土壌表面に存在する生きた種子の集団）は不耕起栽培では土壌表面に集中し，出芽も多くが地表付近からとなるが，出芽は大麦による土壌表面の被蔭によって抑制されることが判明した。そこで，一年生雑草の出芽抑制をねらってカバークロープとしての冬作オオムギを導入したところ，顕著な抑草効果が認められた。抑草効果はダイズの狭畦化などで補完され，条件によっては無除草剤での栽培も可能であることが示された。さらに，冬作オオムギによってダイズの収量も高まることが分かった。

**キーワード**：不耕起，ダイズ，雑草植生，一年生雑草，メヒシバ，シードバンク，雑草の出芽，カバークロープ，冬作オオムギ

**Weed Ecology and Cultural Control in No-tillage Soybean** : Hiroyuki KOBAYASHI \*<sup>1)</sup>

**Abstract** : The goal of this study was to establish an effective weeding system in no-till soybean fields. We first clarified the dominant weed species and their ecological features in no-tillage soybean fields. Second, we tested the efficacy of cultural weeding systems including winter barley as a cover crop on the basis of the findings on weed ecology in no-tillage fields. The field surveys revealed that grass weeds such as *Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler and *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. var. *crus-galli* were abundant in no-tillage fields mainly because of an increase in the frequency of emergence. *Digitaria ciliaris* seeds highly concentrated on or near the soil surface in no-tillage fields, so that many seedlings emerged from the soil surface. The emergence from the soil surface was markedly suppressed by the winter barley shade. Preceding winter barley as a cover crop in no-tillage soybean actually demonstrated strong suppression of annual weed emergence in the field experiments. The combination of winter barley and narrow-row soybean provided high soybean yield and appreciable weed suppression despite a lack of herbicide application and mowing.

**Key Words** : No-till, Soybean, Weed vegetation, Annual weed, *Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler, Seed bank, Weed emergence, Cover crop, Winter barley

\* 1) 東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Fukushima 960-2156, Japan) 2005年10月5日受付, 2005年12月19日受理

## 目次

I 序論	98	1. 材料および方法	120
1. 不耕起栽培における雑草植生	100	2. 結果	123
2. 日本のダイズ栽培における雑草防除の 現状と課題	101	3. 考察	127
3. ダイズ栽培における耕種的防除技術の 開発動向	102	4. 摘要	128
II 不耕起畑における雑草量の推定	105	V カバークロップ条件下における雑草植生の 特徴と雑草抑制効果	128
1. 材料および方法	105	V-1 雑草植生の変遷と主要一年生雑草の 発消長	128
2. 結果	106	1. 材料および方法	129
3. 考察	108	2. 結果	130
4. 摘要	108	3. 考察	135
III 不耕起畑における雑草植生の特徴	109	4. 摘要	135
1. 材料および方法	109	V-2 カバークロップによる地表面被覆が メヒシバの出芽に及ぼす影響	136
2. 結果	111	1. 材料および方法	136
3. 考察	113	2. 結果	137
4. 摘要	116	3. 考察	139
IV 不耕起ダイズ畑における主要イネ科雑草の 出芽およびシードバンクの特徴	116	4. 摘要	140
IV-1 主要イネ科雑草の出芽深度	116	VI 不耕起ダイズ栽培におけるカバークロップを 活用した耕種的防除体系の検証	140
1. 材料および方法	116	1. 材料および方法	140
2. 結果	117	2. 結果	142
3. 考察	118	3. 考察	144
4. 摘要	120	4. 摘要	146
IV-2 メヒシバのシードバンクと発芽生態	120	VII 総合考察	146
		引用文献	149

## 序論

不耕起栽培は土壌浸食防止、有機物含有量の増加などに伴う地力の維持、水分保持、省力化、低コスト化など、多くの利点から注目されている (Froud-Williams *et al.* 1983)。不耕起栽培の起源は、青銅器や鉄器が使用される以前の原始的農業にまでさかのぼることができるが (金沢 1995)、近代的な不耕起栽培が始まったのは 1940 年代に除草剤が発明された後のことである (Shear 1985)。その後、不耕起栽培は南北アメリカを中心として普及し、アメリカ合衆国では 1999 年時点でダイズの栽培面積の 30% 程度が不耕起栽培となっている (農林水産省 1999)。さらに、2003 年には除草剤耐性ダイズの栽培面積がアメリカ合衆国で 80%、全世界で 55% と急速に普及しつつあることから (James

2003)、不耕起栽培についても増加の一途をたどっていると考えられる。

不耕起栽培は究極の環境保全型農業であるという考え方もあるが (King and Holcomb 1985, Koskinen and McWhorter 1986)、耕起という最も効率的な除草法を放棄する農法でもあり、雑草防除が隘路となる可能性が高い (Gebhardt *et al.* 1985)。このため、大規模経営で効率化を追求するアメリカでは、不耕起栽培は除草剤の使用が前提となって普及してきた (Wiese 1985)。こうしたことから、不耕起は chemical tillage と呼ばれることがある (Koskinen and McWhorter 1986)。耕起の最大の意義が雑草の防除であるとするならば、除草剤の出現によって、耕起の必要性が減ぜられ (Shear 1985)、それにつれて不耕起栽培が増加していくのはむしろ当然ということもできる。近年の遺伝子組換えによる除草剤耐

性作物の普及は、不耕起栽培での除草剤の使用をさらに不可欠なものにしている。

一方、日本では平成14年に不耕起播種されたダイズは445 haであり（農林水産省生産局農産振興課2004）、いまだにほとんど普及していない。土壌浸食が深刻な問題となっているわけではなく、また、現状ではダイズ栽培の経営規模が大きいいため、不耕起栽培の大きな利点である省力化や低コスト化についても、生かすに十分な状況にない（金沢1995）。しかし、不耕起栽培にはこれ以外にも多くの利点があり、今後の社会情勢の変化や播種機の性能の飛躍的な向上、低廉化といった技術の進展に伴って、将来的に広く普及する可能性を秘めている。

例えば、日本に特有な事情として、ダイズの播種や中耕作業の適期が梅雨に当たることが多く、耕起栽培では降雨によって作業が遅れ、収量や品質の低下の原因となる場合があるが、不耕起栽培では天候に影響されることが少ないので、適期に作業できる可能性が高い。また、連作の弊害が叫ばれて久しいが、ダイズ連作の面積割合は全国で35%、気候上の制約が大きい東北では実に75%にのぼる（農林水産省生産局農産振興課2004）。実際には輪作体系を導入したいが前後作との作業の競合のため耕起を行う時間的余裕がなく、連作を余儀なくされている地域も多く存在する。こうした地域では不耕起栽培が輪作体系確立の決め手となる可能性がある。近年問題となっている地力の低下についても、有機物含量の増加や植物の根系の発達、ミミズやトビムシ、ササラダニといった土壌動物や土壌微生物の増加などを通じて改善される可能性がある（坂井1988）。さらに、農政や社会情勢の動向によっては、今後、団地化、農作業委託などの進展で農地の集積が飛躍的に進み、南北アメリカなどと同様に経営上、省力化、低コスト化の利点が生じる可能性も否定はできない。日本における不耕起栽培の可能性について金沢（1995）は、「加速度的に肥沃な土壌が消え去り、わが国でも農業の生産コストの低減とエネルギー利用効率の向上が叫ばれている今、わが国独自の省資源・環境保全型農業としての不耕起栽培法の構築を真剣に考える時期にきている」と論じている。

ただし、高温多湿な日本では慣行栽培であっても雑草害が大きな生産阻害要因となっており、不耕起栽培ではそれが更に顕著になるのではないかと、という農家の不安は大きい。除草剤耐性作物を使用する

栽培体系であれば雑草害は問題とならないが、現時点での世論や農政の方向を考えると、日本での遺伝子組換え作物の普及は当分は難しい。今後、不耕起栽培が普及していくためには、耕種的防除技術を中心として、除草剤を合理的に使用する栽培体系の開発が求められる。そのためには、不耕起栽培を行う場合に問題となる雑草はどのような種類で、それはどのような生態的特性を有しているのかを明らかにしなくてはならない（Staniforth and Wiese 1985）。

不耕起畑の雑草植生に関しては、作物栽培に関する研究や雑草植生に関するいくつかの先駆的な研究から、多年生雑草の増加（Derksen *et al.* 1993）など、若干の一般化が可能である。しかしながら、多くの作物の栽培研究は数種の優占種のみを焦点をあてたものであり、その結果、まれな種については十分な研究が行われてこなかった（Derksen *et al.* 1993）。このため、これらの研究から不耕起畑の雑草植生の全体を詳細に理解することは困難である。さらに、不耕起栽培が普及していない日本では、雑草に関する基礎的なデータがほとんど得られていない。そこで本研究では、ダイズの不耕起栽培における合理的な雑草防除技術を開発するための前提として、日本で不耕起栽培を行った場合の雑草植生の特徴と優占雑草種の生態的特性の解明を第一の目標に据え、ついで優占雑草の生態的特性に基づいて、耕種的防除技術を検討し、その効果を検証することとした。

本研究における実験は全て福島市で行ったが、福島市を含む南東北地域以南でのダイズ栽培ではメヒシバなどのイネ科一年生雑草が優占するケースが多く、雑草植生は類似する（中山1988、伊藤1993）。さらに、韓国などの東アジアでは地理的な近さ、気候の類似性などから畑作における雑草植生は日本と類似するとされる（野口1993、榎本1994、1996）。したがって、これらの地域、すなわち日本の南東北地域以南および東アジアの一部では不耕起栽培における雑草生態も本研究の結果から類推可能であり、同じく本研究で試行された耕種的防除技術についても適用できる可能性がある。

本章では事前に不耕起栽培における雑草植生に関するこれまでの試験結果をとりまとめ、その生態的特性解明のための研究の方向性を示すとともに、日本におけるダイズ栽培での雑草防除の現状と耕種的防除技術の開発の動向をとりまとめ、不耕起栽培に



おける耕種的防除の可能性を検討した。

### 1. 不耕起栽培における雑草植生

表1は、海外、主として北アメリカでの過去の試験結果から、不耕起畑で優占した、あるいは問題となったと報告された雑草種をまとめたものである。不耕起栽培では多年生雑草 (Cussans 1975, Froud-Williams *et al.* 1983, Gebhardt *et al.* 1985, Herron *et al.* 1971, Koskinen and McWhorter 1986, Staniforth

and Wiese 1985) や風散布型の雑草 (Derksen *et al.* 1993, Froud-Williams *et al.* 1981, 1983) が増加し、作物の雑草化 (Cussans 1975, Thomas and Frick 1993) が問題になることが明らかになっている。一般的には、その土地に攪乱が全く加えられなければいずれ陽樹の群落に変していくが、攪乱が加えられる場合には遷移の進行が止められ、その強度に応じて特定の植生が維持される (伊藤・森田

表1 不耕起栽培により雑草種組成が変化したとする事例

科名	種名	生活環 <sup>2)</sup>	不耕起による雑草種の増 (↑) 減 (↓) <sup>1)</sup> と引用文献
キク科	ヒメムカシヨモギ <i>Erigeron sp.</i>	B	↑ Buhler (1992)
	<i>Conyza sp.</i>	B?	↑ Triplett & Lytle (1972)
	<i>Cirsium arvense</i>	B?	↑ Triplett & Lytle (1972)
	タイワンハチジョウナ	P	↑ Koskinen & Mc Whorter (1986), ↑ Triplett & Lytle (1972)
	セイヨウタンポポ	P	↑ Blackshaw (1994)
ヒルガオ科	セイヨウヒルガオ	P	↑ Blackshaw (1994), ↑ Clements <i>et al.</i> (1996), ↑ Koskinen & Mc Whorter (1986), ↑ Thomas & Frick (1993), ↑ Triplett & Lytle (1972)
	セヨウヒルガオ	P	↑ Buhler <i>et al.</i> (1994)
ナス科	ワルナスビ <i>Physalis spp.</i>	P	↑ Herron <i>et al.</i> (1997) ↑ Herron <i>et al.</i> (1997)
キョウチクトウ科	<i>Apocynum cannabinum</i>	P	↑ Buhler <i>et al.</i> (1994), ↑ Triplett & Lytle (1972)
サクラソウ科	ルリハコベ	A	↓ Froud-Williams <i>et al.</i> (1983)
アブラナ科	グンバイナズナ	A	↓ Blackshaw (1994)
	クジラグサ	A	↓ Blackshaw (1994)
タデ科	<i>Polygonum pennsylvanicum</i>		↑ Wrucke & Arnold (1985)
	ソバカズラ	A	↓ Blackshaw (1994), ↓ Derksen <i>et al.</i> (1993)
ヒユ科	アオゲイトウ	A	↑ Blackshaw (1994), ↑ Buhler (1992), ↑ Mohler & Callaway (1995), ↑ Thomas & Frick (1993)
アカザ科	シロザ <i>Salsola iberica</i>	A	↑ Cardina <i>et al.</i> (1991)      ↓ Blackshaw (1994), ↓ Clements (1996) ↑ Blackshaw (1994)
イネ科	アキノエノコログサ	A	↑ Buhler (1996), ↑ Buhler & Oplinger (1990), ↑ Cardina <i>et al.</i> (1991), ↑ Schreiber (1992)
	エノコログサ	A	↑ Buhler (1992), ↑ Teasdale & Daughtry (1993)
	キンエノコロ	A	↑ Teasdale & Daughtry (1993), ↑ Thomas & Frick (1993)
	<i>Setaria spp.</i>	A	↑ Stahl <i>et al.</i> (1999)
	オオクサキビ	A	↑ Cardina <i>et al.</i> (1991), ↑ Triplett & Lytle (1972)
	ウマノチャヒキ	A	↑ Blackshaw (1994)
	カラスムギ	A	↓ Derksen <i>et al.</i> (1993)
	イヌムギ	A	↑ Teasdale & Daughtry (1993)
	ノズメノテッポウ	A	↑ Froud-Williams <i>et al.</i> (1993)
	<i>Poa spp.</i>	A	↑ Froud-Williams <i>et al.</i> (1993)
	<i>Digitaria sanguinalis</i> <i>Digitaria spp.</i>	A	↑ Mohler & Callaway (1995) ↑ Herron <i>et al.</i> (1971), ↑ Thomas & Frick (1993)
カヤツリグサ科	シヨクヨウガヤツリ	P	↑ Teasdale & Daughtry (1993), ↑ Thomas & Frick (1993)
	<i>Cyperus spp.</i>	P	↑ Herron <i>et al.</i> (1971)

注. 1) ↑は不耕起または省耕起畑で増加または問題となった種を示し、↓は減少した種を示す。減少した種にはアンダーラインを施した。当該種またはその同属他種が日本に自生するもののみをあげた。

2) A, B, Pはそれぞれ一年生雑草, 二年生雑草, 多年生雑草を示す。B?は二年生雑草とみられるが不確定である。

1999)。丁寧な管理が継続された耕起畑では多年生雑草はほとんど見られず、一年生雑草主体の群落となる。不耕起畑であっても機械除草や除草剤の処理などの管理作業は常に加えられるが、耕起栽培に比べれば攪乱の強度は小さいため、一年生雑草が残存しながら、一定量の多年生雑草が機会的に侵入し、定着することとなる。また、表中のキク科雑草の多くは風散布型であり、不耕起栽培での増加を見ることができる。これらの風散布型の雑草は一般に大きなシードバンク（埋土種子集団）を形成しないので、偶然飛来して発芽した実生が定着する機会の多い不耕起畑で増加するものと考えられる。ただし、表1によれば、生活環については多年生雑草よりも一年生雑草が問題であるとする報告がむしろ多い。特に、エノコログサ (*Setaria*) 属 (Buhler 1992, 1996, Buhler and Oplinger 1990, Cardina *et al.* 1991, Schreiber 1992, Stahl *et al.* 1999, Teasdale and Daughtry 1993, Thomas and Frick 1993) やメヒシバ (*Digitaria*) 属 (Herron *et al.* 1971, Koskinen and McWhorter 1986, Swanton *et al.* 1999, Thomas and Frick 1993, Tuesca *et al.* 2001) などイネ科一年生雑草が優占する (Froud-Williams *et al.* 1984, Tuesca *et al.* 2001, Streit *et al.* 2003) という報告が多くみられる。日本における試験例からひろってみると、転換畑でセイタカアワダチソウ (伊藤ら 1989) など風散布型のキク科多年生雑草が問題となったという報告がある一方、夏作ではイネ科一年生雑草が問題となったという報告も散見される (井上 1999, 佐合・中川 1999)。しかし、上述の報告では、不耕起栽培で一年生雑草、特にイネ科雑草が問題となるということはしばしば簡単に触れられるが、総説の中で明確に記述された例はなく、その原因も調べられていない。このように、イネ科雑草の優占が明確に認識されていないのは、現時点で参照しうる多くのデータが栽培試験のかたわらで得られた少数の優占種についてのものであり、雑草植生全体を調査対象とした研究が限られていることが原因の一つとして考えられる。したがって、日本の不耕起栽培における雑草生態の解明のためには、第一に、雑草植生を解析し、その特徴を明らかにすることが必要である。

さて、雑草の生育の場としての不耕起栽培と耕起栽培の違いは主に耕起の有無に起因する。特に一年生雑草にとっては、耕起の有無はシードバンクの成

り立ちと、そこからの出芽に直接的な影響を有していると考えられる。出芽は開花・結実とともに一年生雑草の生活史を決定づける要素であり、問題となる雑草についてその特性を明らかにすることは耕種的防除技術を考える上で有効であるに違いない。しかし、これまで多数行われてきた耕地雑草の生態に関する研究では、「農地とは耕起が行われる場所」という暗黙の了解があったように思われる (Baskin and Baskin 1998)。このため、定性的な理解として、不耕起栽培では埋土種子が地表付近に多くなる傾向があるということは広く受け入れられているが (Clements *et al.* 1996, Hoffman *et al.* 1998, Dorado and Del Monte 1999, Buhler *et al.* 2001, Tørrensen *et al.* 2003)、不耕起栽培における特定の優占雑草種のシードバンクについて詳細なデータがとられた例はない。また、出芽深度については、カラスムギ、コムギなど数種の一年生の植物で深化の傾向が見られたとする報告がある (du Croix Sissions *et al.* 2000)。しかし、日本におけるダイズの不耕起栽培で問題となる雑草種について、それが詳細に調べられた例はない。上述の日本の不耕起栽培における雑草の植生解析から抽出された重要雑草について、こうした生態的特性を明らかにしていくことが求められる。

## 2. 日本のダイズ栽培における雑草防除の現状と課題

日本のダイズ栽培は、研究レベルでの試みなどを除けば、すべてが播種前に耕起を行う耕起栽培である (有原 2000)。通常、耕起栽培では、播種直後に土壌処理型除草剤が散布される。後発生のイネ科雑草に対しては茎葉処理型除草剤を使用できるが、後述するように、広葉雑草に有効で全面散布が可能なものはごく限られる。このため1回ないし数回の中耕・培土が除草と倒伏防止を目的に行われる。シロザなど大型で1個体あたりの種子生産量の多い、いわゆる種草の残草が見られる場合には、拾い草と称して手取り除草が行われる場合もある (野口・森田 1997)。

一方、不耕起栽培では播種前の耕起が省略されるため、播種前に非選択性茎葉処理型除草剤などにより雑草を除いておく必要がある。また、中耕を省略するため、ダイズは狭畦とし、後発生の雑草がめだつ場合には茎葉処理型除草剤による防除が必要となる場合がある (中山ら 2001)。このように、不耕

起栽培における除草体系は耕起栽培とは異なる面があるため、耕種的防除技術についても、特有の技術の適用が必要となる場合がある。

除草剤に関しては、広葉雑草に有効な茎葉処理型除草剤のうち、ペンタゾン系をダイズの生育期に使用することが2005年から可能になり、除草手段が大きく広がった。しかし、ペンタゾンは品種によってはダイズに薬害を生じさせる場合がある一方、シロザやヒユ類など、熟畑において重要な雑草に対して十分な効果を有していない(渋谷 私信)。一方、これとは別に、近年、国内で除草剤の畦間・株元処理技術が注目を集めている(岡村ら 2005)。これはダイズの生育期に、ダイズの頂芽部分を避けるように茎葉処理除草剤を散布するものであり、不耕起栽培での活用も可能である。除草剤耐性ダイズと非選択性茎葉処理型除草剤の組み合わせによる防除技術につながる技術とも言え、今後の進展が期待されるが、効率的でドリフトの心配のない散布装置の開発など、解決すべき問題は多い。いずれにしても、今後とも除草剤の適用範囲を拡大していくと同時に、雑草の生態を解明し、それに基づいて耕種的防除も含めた効果的かつ安定した除草体系を構築していくことは極めて重要であると考えられる。

### 3. ダイズ栽培における耕種的防除技術の開発動向

一方で、ダイズ栽培における耕種的防除技術に関する研究が日本でも次第に目立つようになってきた。しかしながら、これを実際の栽培技術として確立するためには、雑草防除に関する基本的なデータの蓄積が不足している。他方、欧米、特に南北アメリカでは、省除草剤、省力化、除草の安定化などの観点から耕種的防除技術に関する試験研究が以前から数多く行われてきており、それらの知見は日本での技術開発においても参考になる。

省除草剤のために活用しうる個別技術の研究は、ダイズの狭畦・密植栽培、リビングマルチなど被覆作物の利用、除草剤の帯状処理など除草剤の利用に関する技術、施肥関連技術など幅広い。そこで、以下に、これらのうち、不耕起栽培での活用が期待できるとともに、本研究の場となった東北地域での研究実績もある被覆作物の利用と狭畦・密植栽培に絞って、南北アメリカを中心とした海外での試験結果も含めてとりまとめる。

#### 1) 狭畦・密植栽培

ダイズは「草抑え」などとも言われるように、本

来、自らの被蔭によって雑草の生育を抑制する能力が高い作物である(野口・森田 1997)。しかし、これは被蔭が完成した後のことで、播種から草冠が閉じるまでにはかなりの時間がかかり、それまでは決して被蔭程度が強いわけではない。そこで、被蔭をできるだけ早く完成させる手段として、狭畦や密植栽培が検討されてきている。両者は本来異なる概念であり、その効果も異なるものだが、圃場試験の場面では必ずしも明確に区分されてきていないので、ここではまとめて議論することとした。

南北アメリカで最近行われた狭畦・密植栽培に関する試験例を調べてみると、畦幅は20 cm以下、播種密度は5000個体  $a^{-1}$ 程度が標準的である(Mulugeta and Boerboom 2000, Swanton *et al.* 1998, Egli and Bruening 2000, Knezevic *et al.* 2003, Andrade *et al.* 2002, Pedersen and Lauer 2003, Dirks *et al.* 2000, Holshouser and Whittaker 2002, Pricelli *et al.* 2002)。一方、日本でも近年試験が行われるようになってきているが、畦幅は30 cm程度、播種密度は3000～4000個体  $a^{-1}$ 程度と狭畦・密植の程度は高くない(野口ら 1993, 山下 2002, 中山ら 2001, 大段ら 2003)。こうした試験が行われるようになった背景には、最近の新品種には耐倒伏性が高く、主茎型の生育を示すなど、概して密植耐性の高いものが多いことがあげられる。一方で、近年は売れないダイズを作っても仕方がないという考え方が浸透してきており、加工適性や、リポキシゲナーゼ欠失ダイズ、高いイソフラボン含量など品質を重視する育種が進んでいる。今後、アメリカ並みの狭畦、密植栽培も試されるべきだと思われるが、そのためには日本の実需者の求める品質を有しながら、密植適性の高い品種が開発されることが前提となる。

狭畦の効果は、草冠が早期に閉じることにある。播種量がある程度以上であれば、播種量が同じであっても、普通畦の半分程度の狭畦にすることで、草冠が閉じる期間が7～10日程度は早期化し(野口ら 1993, 大段ら 2003)、それに応じて必要除草期間も同程度短くなる(中谷・野口 1991, Knezevic *et al.* 2003)。一方、福島県農業試験場が狭畦と栽植密度の効果を実験で調べたところ、狭畦による草冠完成の早期化および抑草効果は大きかったが、栽植密度の効果ははっきりしなかった(未発表)。こうしたことから、栽植密度がある程度高い場合に

は、狭畦と密植の効果を分離すれば、狭畦、すなわち個体の配置の抑草効果がより大きい可能性がある。狭畦栽培は、それに合った品種があれば比較的簡単に採用しうる技術なので、中耕・培土を前提としない不耕起栽培では、他の抑草技術を補完する手段として期待される。

2) 被覆作物の利用

被覆作物はアメリカ合衆国において、土壌浸食防止の観点から20世紀初頭からすでにその利用が認められるが (Hartwig and Ammon 2002), 雑草防除の観点からの本格的な研究は1950年代初頭に始まった (Shear 1985)。これらの研究の多くは、当時、発明まもない茎葉処理型除草剤によって休閑期に栽培したクローバーなどのカバークロップを枯殺した後に、麦類やダイズ、トウモロコシを栽培するというものであり (Barrons and Fitzgerald 1952), 除草剤の使用を前提とする技術であった。アメリカ合衆国では現在でもある時点で被覆作物を除草剤で枯殺、あるいは生育を抑制する体系が多い。

被覆作物の利用技術は、図1に示すように主作物と被覆作物の栽培時期の相対的な関係から大きく二つに分類される (Teasdale 1998, Hartwig and Ammon 2002)。一つはリビングマルチ、すなわち主作物と被覆作物が同時に生育することで被蔭を強化することにより主として雑草の生育を抑制し、場合によっては出芽も抑制しようとするものである。被覆作物との同時播種はその典型である。もう一つは冬作カバークロップとしての利用、すなわち休閑期、通常は冬作としてカバークロップを導入し、主作物の栽培時にはその残さで土壌表面をマルチして、雑草の出芽と初期生育を抑えるもので、技術の性格上、不耕起栽培で利用される。これらについて、以下に概説する。

(1) リビングマルチ

リビングマルチを利用した最も古典的な栽培体系は、トウモロコシとクローバーの組み合わせで (Hartwig and Ammon 2002), これまで欧米で数多くの試験が行われてきた。日本でも、東北農業研究センター畑地利用部 (福島市) でトウモロコシにホワイトクローバをリビングマルチとして利用する研究が行われ、その有用性が実証されている (三浦ら 2002)。ダイズ栽培におけるリビングマルチの利用例は多くないが、東北地方に限っては、ほとんどの全県の農業試験場と東北農業研究センターで、ダイズ栽培にリビングマルチの試験が行われている。その先駆けは、秋田県農業試験場によって開発されたダイズとオオムギを散播した後、浅耕する技術である (井上ら 2000)。リビングマルチとして利用されているのは通常オオムギまたはコムギであるが、品種は地域によって異なっている。麦類およびダイズの播種方法は散播、条播かそれらの組み合わせによる。リビングマルチ栽培におけるダイズの収量は麦類との競争により若干減収するという報告が多いが、ダイズを狭畦にすることで減収を補い、慣行栽培よりも高い収量を確保することができたとする報告もある (福島県未発表)。

(2) カバークロップ

主作物の休閑期に被覆作物を栽培し、後作でその残さをマルチとして利用するカバークロップは、被覆作物の利用形態としては古典的な方法であり (Shear 1985), 様々な体系で、雑草防除のみならず土壌浸食防止、地力の維持向上など様々な観点から研究されてきた。雑草防除については、カバークロップの主要な効果は残さマルチによる土壌表面の被蔭による雑草の個体密度の低減にあるとされる。すなわち、残さ量が増えるほど被蔭は強くなり

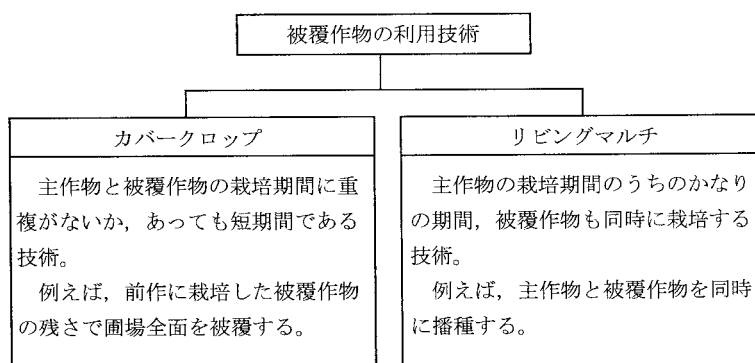


図1 栽培期間の主作物との相対的な関係にもとづく被覆作物の利用技術の分類

(Facelli and Pickett 1991, Teasdale and Mohler 1993), その結果, 雑草の個体密度も低くなる (Teasdale 1998)。Mohler and Teasdale (1993) によれば, 乾物重で  $1000 \text{ g m}^{-2}$  程度の残さが確保されると, 多くの雑草種の出芽はほぼ完全に抑制される。ダイズ栽培では日本でもヘアリベッチ (佐合ら 1999) やライムギ (小笠原ら 1999) がカバークロープとして試されている。また, カバークロープとしての利用ではないが, 以前から麦作の後には雑草が少ないということが言われており, 子実をコンバインで収穫した後の麦稈だけであっても, 被覆をていねいに行えば, 次作のダイズ栽培でかなりの防除効果があったとする報告もある (伊藤ら 1989)。なお, コムギ, ライムギなどカバークロープとして利用される作物のなかにはその残さから放出される物質, すなわちアレロパシーによって夏雑草を抑制する効果を有するものがあることも知られている (伊藤 1993)。

本研究では, 雑草学分野および雑草防除の基礎として, 日本では未解明である不耕起ダイズ栽培における雑草の生態学的知見を得ることを第一の目的とした。すなわち, 第II章においてまず, 調査を正確かつ効率的に実施するため, 本研究を通じて雑草量の指標として使用した乗算優占度 (MDR; Multiplied Dominance Ratio) の妥当性を検証した。ついで, 第III章では, 雑草植生を全体として植物群集ととらえ, 不耕起畑と耕起畑とを比較することにより, 不耕起畑雑草植生の特徴を明らかにした。ここでは, 不耕起栽培で防除の第一のターゲットは一年生の夏雑草であり, 特にイネ科雑草が重要であることを明らかにするが, それを受けて, 第IV章においてその種レベルでの生態的特性, とくにシードバンクと出芽に関する特性を解明した。以上の研究で得られた知見をもとに, 第V章以降で, 耕種防除手法について検討を行い, 栽培レベルでの適用を試みた。第V章では, ダイズの不耕起栽培における植生と主要一年生夏雑草の出芽との関連を解析した。すなわち, ダイズの不耕起栽培での一年生夏雑草, 特にイネ科雑草の優占が出芽数の増加と関連があることを明らかにするとともに, その抑制による効率的な防除の可能性を示し, カバークロープを活用した耕種防除技術の開発の端緒とした。さらに, 第VI章ではカバークロープに狭畦な

どの技術を組み合わせ, 雑草防除技術体系としての有効性を検証した。なお, 本研究におけるダイズの栽培試験では, 当初, 本研究の場となった福島県の奨励品種で, 現在最も作付面積の大きいスズタカを用いたが, 2002年にふくいぶきが奨励品種として採用されてからは, ふくいぶきを用いることとした。

なお, 本論文の第I章は小林 (2004a, b) に加筆の上, 再整理したものであり, 第II章は小林, 渡邊 (2000), 第III章は Kobayashi *et al.* (2003), 第IV-1章は小林ら (2002b), 第IV-2章は主として Kobayashi and Oyanagi (2005), 第V-1章は Kobayashi *et al.* (2004), 第V-2章は小林ら (2004a), 第VI章は小林, 小柳 (2005) にそれぞれ発表したものである。

本研究は農業・生物系特定産業技術研究機構東北農業研究センター畑地利用部作付体系研究室において行ったものであるが, 京都大学において研究の指導を受けたメヒシバの生態研究がその基礎となった。これらの研究の遂行と本稿のとりまとめにあたっては, 一貫して京都大学大学院農学研究科雑草学研究室の伊藤操子教授に懇切なご指導, ご助言を賜った。また, 東北農業研究センター畑地利用部作付体系研究室の小柳敦史室長には, 本研究の遂行にあたって貴重なご助言をいただくとともに, 本稿について懇切なご校閲を賜った。同研究室の渡邊好昭前室長には環境保全型農業の基礎技術として本研究を実施する端緒を与えられた。

次に記す各先生ならびに学兄からは, 研究の各段階において, 貴重なご助言をいただいた。京都大学大学院農学研究科雑草学研究室の草薙得一教授 (当時, 故人), 山末祐二助教授 (当時), 小林央往助手 (当時, 故人), 三浦励一講師, 農林水産省農林水産技術会議事務局振興課の岩元明久課長補佐 (当時), 東北農業研究センター畑地利用部の新田恒雄部長, 山田一郎部長 (当時), 飯塚隆治部長 (当時), 中村好男上席研究官 (当時), 中央農業総合研究センター耕地環境部の野口勝可部長 (当時), 高柳繁上席研究官 (当時), 東北農業研究センター畑地利用部作付体系研究室の長谷川浩主任研究官, 三浦重典主任研究官 (当時), 中央農業研究センター畑雑草研究室の與語靖洋室長 (当時), 渋谷知子主任研究官, 浅井元朗主任研究官 (当時), 東北農業研究センター企画調整部の伊藤一幸研究調整官 (当時), 同セ

ンター総合研究部総合研究第1チームの渡邊寛明チーム長、同センター水田利用部雑草制御研究室の中山壮一室長、九州沖縄農業研究センター水田作研究部雑草制御研究室の住吉正室長、京都大学農学部付属亜熱帯植物実験所の山河重弥講師（当時）、東北大学大学院農学研究科の吉岡俊人助手。

また、次に記す各先生からは、筆者の研究に対して格段のご配慮を賜った。農林水産省農林水産大臣官房の鈴木信毅技術総括審議官（当時）、大森昭彦技術総括審議官（当時）、農林水産技術会議事務局振興課民間研究推進室の桑名清文室長（当時）、同課の小林慎一課長補佐（当時）、農林水産省構造改善局の岡本芳郎次長（当時）、社団法人日本農業集落排水協会の谷山重孝理事長（当時）、菊岡保人専務理事（当時）、同協会農村水質工学研究所の小松康人次長（当時）、國弘実部長（当時）。

さらに、実験の実施および本論文の取りまとめに際しては、東北農業研究センター畑地利用部業務科の伊東健二氏、藤澤敏彦氏（故人）、宍戸力雄氏、菅正氏、吉田聖徳氏、櫻井貴雄氏、小笠原篤氏、井沢憲行氏、菅野光子氏、齊藤美菜氏、内田智子氏に多大なご協力をいただいた。

以上、記して深謝の意を表します。

### 不耕起畑における雑草量の推定

農耕地の雑草生態または雑草防除に関する試験研究においては、圃場に存在する雑草量の把握が不可欠である。雑草量の指標としては地上部乾物重が広く用いられているが、これは非破壊では測定できず、特に種ごとに測定する場合には多大な労力を要する。一方、植物群落の構成種の優占度を示す指数として、被度（単一の植物種が占有する単位面積当たりの面積）や常在度（植物種の出現頻度）、草高等をさまざまに組み合わせた相対優占度が用いられてきた。これらは非破壊かつ短時間で測定することが可能であり、圃場における雑草量を推定する指標として利用可能であれば、極めて有用と考えられる。

現在、植生の解析には優占度の指標として被度が用いられることが多く、また日本では被度や草高の相対値の単純平均値である積算優占度（SDR; Summed Dominance Ratio）も広く用いられている（沼田・依田 1957）。また、山本ら（1995）は積算優占度を改良し、調査時期や地点間での比較も可能な拡張積算優占度（E-SDR; Extended Summed

Dominance Ratio）を提案した。一方、乗算優占度（MDR; Multiplied Dominance Ratio）は種ごとに被度と草高を乗じることにより算出される指数で、これまでに雑草生態研究者が雑草の優占度指数としてしばしば使用してきている（根本・神田 1976）。定ら（1999）によれば、耕起畑の雑草植生において、乗算優占度は積算優占度などよりも雑草の乾物重と高い相関があった。このことを踏まえて、三浦（1999）は、トウジンビエ畑に生育する雑草の乾物重の推定値として活用している。

本研究では、被度と草高から算出した優占度指数が、不耕起畑および耕起畑の両方で年間を通じて出現する雑草植生を対象とした場合に、雑草の地上部乾物重の推定値として利用可能かどうかを検証するとともに、それをを用いて、畑雑草の地上部乾物重の季節消長の推定を試みた。

#### 1. 材料および方法

東北農業研究センター畑地利用部（福島市）の腐植質黒ボク土および淡色黒ボク土の畑に、不耕起で夏作期間、刈り取り除草を頻繁に7回行う区（NF）、刈り取り除草を4回行う区（NR）および耕起を行う区（T）をそれぞれ設け、1998年6月から2000年5月まで処理を継続した。刈り取りは地際で行い、刈り取った茎葉はその場に放置した。NF区およびNR区の刈り取りは毎年それぞれ5月、6月、7月、8月、9月、10月、11月および5月、7月、9月、11月に行い、T区では5月、6月、7月、9月、10月、11月に1回ずつ、計6回行った。ただし、初年目の1998年については5月に全区を耕起し、各区の処理および調査は6月から開始した。1区画の面積は16 m<sup>2</sup>（4 m × 4 m）で、土壌タイプごとに4反復を設けた。被度および草高の調査は1か月に1回、処理を行う月についてはその直前に、各区に2枠ずつ設けた1 m × 1 m の方形枠について行った。被度等の調査の後、処理直前に上述した2つの方形枠の中央付近にそれぞれ1つずつ設けた0.5 m × 0.5 m の方形枠内の雑草の地上部を刈り取り、105℃で48時間以上乾燥させ、その重さを測定した。ただし、処理を行わない月にはこの調査は行わなかった。出現した全種について被度および草高それぞれの最大値を100とした相対値を加えて2で除することにより拡張積算優占度（E-SDR）を、被度および草高をそれぞれ乗じることにより乗算優占度（MDR）を算出した。

表2 処理, 土壌タイプおよび調査時期ごとの雑草全種の被度(C), 拡張積算優占度(E-SDR)および乗算優占度(MDR)の合計値と雑草地上部乾物重の合計値との単相関係数

処理などの区分		広葉雑草			イネ科雑草			合計		
		C	E-SDR	MDR	C	E-SDR	MDR	C	E-SDR	MDR
処理	不耕起除草7回(NF)	0.55**	0.69***	0.86***	0.89***	0.89***	0.88***	0.70***	0.63***	0.83***
	不耕起除草4回(NR)	0.33	0.62**	0.81***	0.88***	0.85***	0.96***	0.43	0.62***	0.78***
	耕起(T)	0.73***	0.62**	0.78***	0.86***	0.95***	0.92***	0.75***	0.74***	0.88***
土壌	腐植質黒ボク土	0.52**	0.76***	0.84***	0.80***	0.82***	0.89***	0.69***	0.78***	0.86***
	淡色黒ボク土	0.80***	0.90***	0.95***	0.78***	0.89***	0.91***	0.73***	0.79***	0.86***
調査時期	1999年7月	0.89*	0.98***	1.00***	0.97***	0.96***	0.99***	0.90***	0.97***	0.99***
	1999年9月	0.01	0.26	0.30	0.88*	0.35	0.92**	0.65	0.40	0.82*
	1999年11月	0.92**	0.96***	0.99***	0.50	0.84*	0.93**	0.91**	0.95**	0.99**
全体		0.60***	0.71***	0.85***	0.79***	0.85***	0.90***	0.69***	0.74***	0.86***

注. 処理, 土壌タイプおよび調査時期ごとの4反復の平均値を相関分析の対象とした。

\*, \*\*, \*\*\*はそれぞれ5%, 1%, 0.1%水準で有意であることを示す。

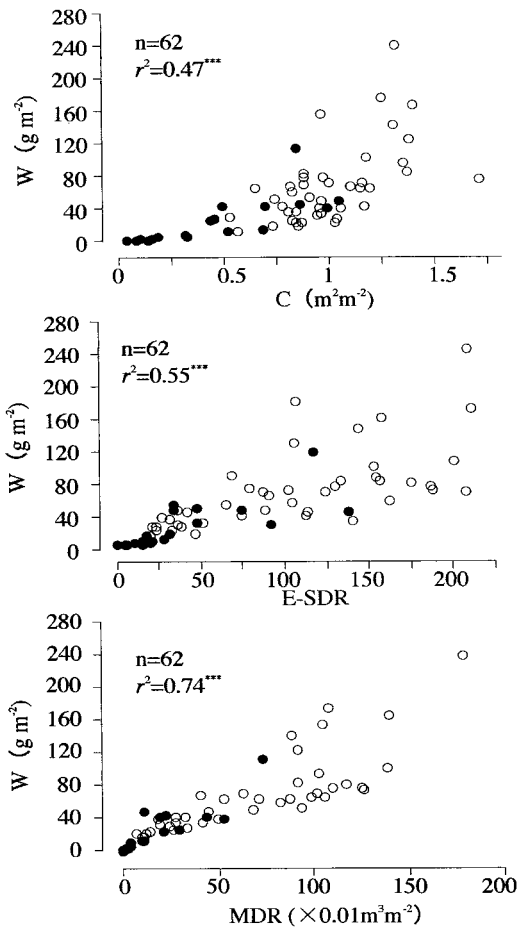


図2 雑草全種の被度(C), 拡張積算優占度(E-SDR)および乗算優占度(MDR)と雑草地上部乾物重(W)との関係

各プロットは土壌タイプ, 処理, 調査時期ごとの4反復の平均値で, ○および●はそれぞれ不耕起区(NF区, NR区)および耕起区(T区)を示す。

\*\*\*は, 0.1%水準で有意であることを示す。

算出方法は次式の通りである。

$$E-SDR = (C+H)/2$$

ここで,

C': 全調査期間, 全処理区を通じて被度合計が最大の種の値を100としたときの比数。

H': 全調査期間, 全処理区を通じての草高合計が最大の種の値を100としたときの比数。

また,

$$MDR (\text{m}^3 \text{m}^{-2}) = \text{被度} (\text{m}^2 \text{m}^{-2}) \times \text{草高} (\text{m}).$$

## 2. 結果

出現種数はNF区, NR区, T区でそれぞれ18科61種, 20科56種, 16科52種, 全体では20科70種であった。図2に, 出現雑草種の合計値について地上部乾物重と被度, 拡張積算優占度および乗算優占度との関係を示した。それぞれのプロットは土壌タイプ, 処理, 処理時期ごとの4反復の平均値である。いずれも1%水準で正の相関が認められたが, 乗算優占度と乾物重の関係が直線的で, 最も相関が高かった。なお, 被度と乾物重の関係は直線的ではない可能性が認められた。表2に, これらの指標と乾物重との単相関係数を処理区, 土壌タイプおよび調査時期ごとに示した。ほとんどすべての区分で, 乗算優占度は乾物重と安定して高い相関を示した。次に全出現種の合計値について乗算優占度を独立変数, 乾物重を従属変数として直線回帰を行い, 次式を得た。

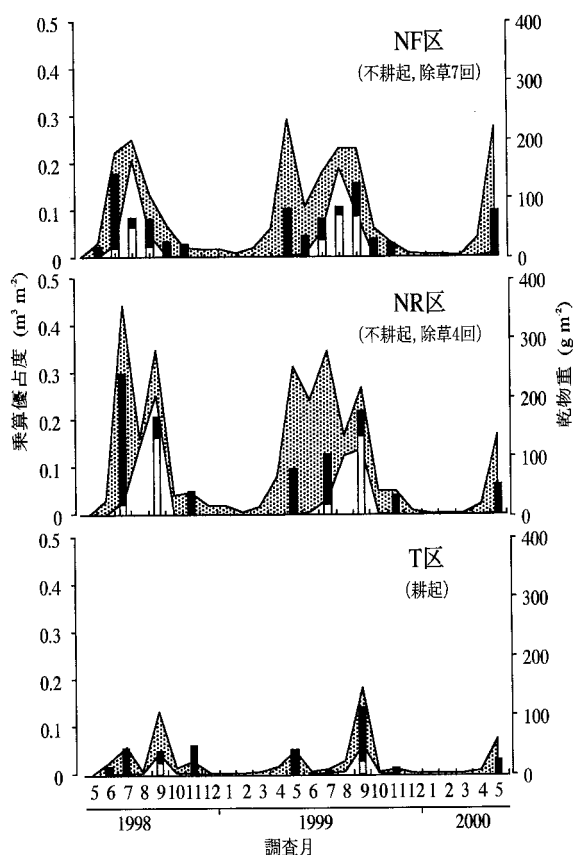


図3 腐植質黒ボク土の圃場における広葉雑草およびイネ科雑草の乗算優占度と地上部乾物重の推移

面グラフは雑草の乗算優占度で、およびはそれぞれ広葉雑草およびイネ科雑草を示す。棒グラフは地上部乾燥重で、およびはそれぞれ広葉雑草およびイネ科雑草を示す。

耕起畑 (T区) について、

$$y=1.84+0.596x \quad n=18 \quad r^2=0.772$$

不耕起畑 (NF区, NR区) について、

$$y=3.65+0.447x \quad n=44 \quad r^2=0.691$$

ここで、 $y$  : 地上部の乾物重 ( $g \ m^{-2}$ ),  $x$  : 乗算優占度 ( $\times 0.01 \ m^3 \ m^{-2}$ )。

上の2式の回帰係数には5%水準で有意差が認められなかった。すなわち、両区の傾向は同一と見なすことができる。そこで全ての区のデータをプールして、次式を得た。変数の意味は上の2式と同様である。

$$y=3.57+0.453x \quad n=62 \quad r^2=0.741$$

図3に腐植質黒ボク土における乗算優占度および乾物重の推移を広葉雑草およびイネ科雑草に区分して示した。すべての区で乗算優占度と乾物重の推移はよく一致した。淡色黒ボク土においては優占度は腐植質黒ボク土に比較して低い傾向が認められた

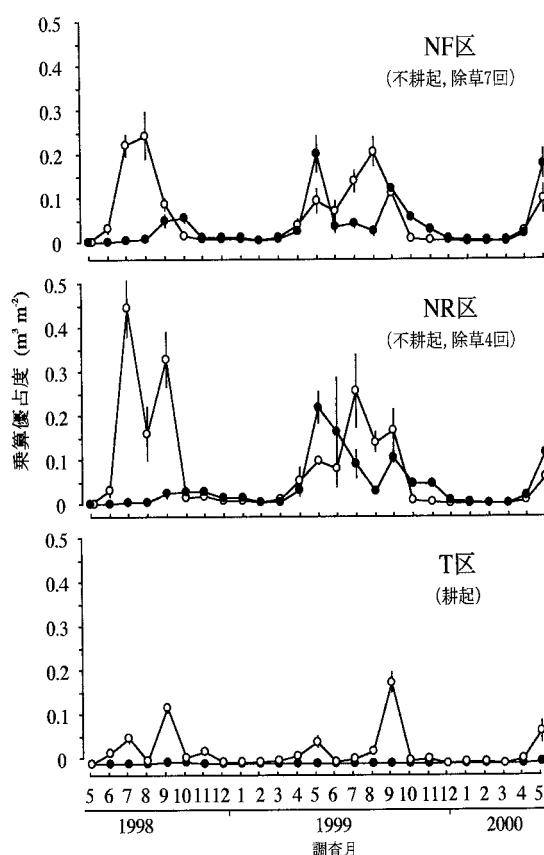


図4 腐植質黒ボク土の圃場における多年生雑草と一、二年生雑草の乗算優占度の推移

●および○はそれぞれ多年生雑草および一、二年生雑草。誤差線は標準誤差を示す (N = 4)

が、推移パターンは腐植質黒ボク土と同様であった(図省略)。どちらの土壌タイプでもNF区, NR区はT区に比較して乗算優占度は高く推移したが、すべての区で、冬の乗算優占度は夏季に比較して著しく低かった。すべての区で、広葉雑草の乗算優占度が相対的に高い期間が長かったが、初夏から秋にかけてはイネ科雑草の優占度が高くなった。イネ科雑草のほとんどはメヒシバであった。NF区, NR区では2年目の春期に広葉雑草の乗算優占度が高くなった。乗算優占度が特に高かったのはハルジオンであった。図4は、腐植質黒ボク土における乗算優占度の推移を雑草の生活環ごとに整理したものである。淡色黒ボク土の圃場における乗算優占度の推移パターンは腐植質黒ボク土の圃場と同様であった(図省略)。全ての処理区において1年目の秋期までは乗算優占度のほとんどを一年生雑草が占め、



NF区、NR区では秋以降、多年生雑草の乗算優占度が次第に高まり、特に2年目以降の春期にはその優占が著しかった。しかし、夏季には初年目と同じく一年生夏雑草が優占し、その多くはメヒシバであった。一方、T区では全期間を通じてほとんどが一年生雑草であった。

### 3. 考 察

乗算優占度は耕起畑の雑草植生について乾物重との相関が高いことがすでに示されているが(定ら1999)、本研究から、このことは不耕起畑、耕起畑の両方の雑草植生について、年間を通じてあてはまることが明らかになった。また、乗算優占度の季節消長を雑草の分類群ごとおよび生活環ごとに分析することで、不耕起畑と耕起畑における雑草量の季節消長の特徴をよくとらえることが可能であった。すなわち、不耕起で、しばしば刈り取り除草を行うような栽培方法をとった場合、除草剤を用いなければ雑草量は次のように推移することが示唆された。すなわち、全体として不耕起栽培の雑草量は慣行栽培よりも多い。また、不耕起栽培では、慣行栽培からの移行初年目の冬作から多年生雑草が次第に増加し、それは春期に特に多くなる。さらに、不耕起栽培では、夏作期間はメヒシバをはじめとする一年生夏雑草が優占する。

乗算優占度(MDR)は雑草の単位面積あたりの占有面積( $m^2 m^2$ )に草高(m)を乗じた指数であり、ディメンジョンを整理すれば、 $m^3 m^2$ となっており、単位面積あたりの占有体積を意味するといえる。このため、雑草の比重を $d (g m^{-3})$ とすれば、雑草の単位面積あたりの乾物重(W)は次式で推定できる。

$$W (g m^2) = d (g m^{-3}) \times MDR (m^3 m^2)$$

すなわち、 $d$ が一定であれば、乗算優占度は単位面積あたりの乾物重に比例する。耕起畑と不耕起畑に共通して、乾物重と乗算優占度の関係が直線的で相関が高かったのは、こうした乗算優占度の定義によると考えられる。一方、被度( $m^2 m^2$ )単独では乗算優占度( $m^3 m^2$ )とディメンジョンが合わないため、両者の関係が直線的でないのは当然である。また、積算優占度は、本来異なる単位ではかられる測度の相対値の平均値であり、やはり関係の直線性は得にくいと考えられる。実際、本研究においても、不耕起畑で雑草量が多い場合には特に直線性の乱れが問題となり、分散も大きくなることが明らかになった。積算優占度は被度や草高の他、常在度などさ

まざまな測度を加味することによって、単に方形枠内に現れた現存量だけではない「総合的な優占度」を表すことができるため(沼田・依田 1957)、調査の目的によってはその使用が望ましい場合があると考えられる。しかし、地上部の乾物重にかわる現存量の代表値としては、乗算優占度が実際のデータから、さらに理論的にも最も正確であることは明らかである。

また、本研究では、耕起畑と不耕起畑で、乗算優占度を独立変数、地上部乾物重を従属変数とする一次回帰式に違いが認められなかったことから、両圃場を一括して議論する場合にも乗算優占度を用いることが可能と判断された。以上から、本研究においては、以後、雑草の現存量は不耕起畑と耕起畑に共通する指標として、乗算優占度で代表させることとした。なお、本研究で乗算優占度から地上部乾物重を推定する場合には、耕起畑と不耕起畑のデータをプールして得た次の回帰式を用いることとした。

$$y = 3.57 + 0.453x$$

ここで、 $y$  : 地上部の乾物重 ( $g m^2$ )、 $x$  : 乗算優占度 ( $\times 0.01 m^3 m^2$ )。

### 4. 摘 要

不耕起畑において、雑草の現存量の推定を非破壊で、正確かつ効率的に行うのに適切な優占度を明らかにするため、3つの優占度指数(被度、乗算優占度、拡張積算優占度)と雑草の地上部乾物重との関係を調べた。

その結果、不耕起畑、耕起畑のいずれでも、土壌タイプや調査時期にかかわらず、乗算優占度と地上部乾物重との間には直線的な関係が認められ相関が高かった。

耕起畑と不耕起畑で、乗算優占度と地上部の乾燥重についての回帰係数には違いが認められなかった。したがって、乗算優占度は不耕起畑、耕起畑のいずれの雑草植生についても、雑草現存量の推定値として地上部の乾物重にかえて使用しうると考えられた。

算出された乗算優占度から、不耕起で、しばしば刈り取り除草を行うような栽培方法をとった場合、除草剤を用いなければ雑草現存量は慣行栽培よりも増加すること、慣行栽培からの移行初年目の冬作から多年生雑草が次第に増加し、それは春期に特に多くなること、夏作期間にはメヒシバをはじめとする一年生夏雑草が優占を続けることが示唆された。

## 不耕起畑における雑草植生の特徴

雑草の効率的な防除のためには、防除すべき雑草種を明らかにし、その生態を解明することが必要だが、防除すべき雑草種は多くの場合一種だけではなく、複数の種が同時に防除対象になるのが一般的である。したがって、防除対象は特定の「種」ではなく、植生、すなわち種の集合としてとらえるのが現実的である。また、防除対象がどのような生態的特性を有する雑草であるかを概括的にとらえるためにも、植生全体を把握することが必要である。

本章では、日本における不耕起畑の雑草植生の特徴を明らかにすることを目的として、福島市において雑草の植生調査を実施した。第一に、10年以上同じ栽培管理方法が継続された不耕起畑および耕起畑において、2年間にわたって毎月植生調査を行った。第二に、不耕起畑を含む複数の畑において雑草植生を調査し、その構造を分析した。解析に用いる優占度指数には、第Ⅱ章の試験結果に基づき乗算優占度を用いた。

近年、草地や森林を対象とした研究に続いて、畑地の雑草植生についても座標付け (Dale *et al.* 1992, Derksen *et al.* 1993, 1995) や分類 (Post 1988) などの多変量解析が試みられるようになってきた。座標付けは、種組成やそれぞれの種の優占度から構成される多次元データを要約し、時間的または空間的に連続した変化を視覚的に示すのに有用な手法である。分類手法も、同様に多次元データを要約するものだが、不連続な植生を不連続点で分割することで、グループ分けするのに用いられる。主成分分析や交互平均法は、植生データそれ自体に基づく座標付け手法としてよく知られているが、これらは、調査地点間の距離を正確に表現することができないという大きな欠点をもつ。これに対して、Hill and Gauch (1980) が開発した除歪対応分析 (DCA ; Detrended Correspondence Analysis) はこうした欠点を是正するため、交互平均法を改良したもので、現在、標準的な植生の座標付け手法のひとつとなっている (Gauch 1982)。この手法の名称は、交互平均法から傾向を除いた手法であることを示唆するものである。交互平均法では第2軸以上の高次の軸において、アーチ効果といわれる分布の歪みが現れる。これは、高次の軸は低次の軸と相関しない、すなわち直交するということが規制条件となるため

ある。除歪対応分析においては、第2軸以上の軸における直交という規制は、歪みの除去によって用意されるより強い基準で代替される。除歪対応分析における歪みの除去は、交互平均法による第1軸を多くのセグメントに分割し、それぞれのセグメントにおいて、第2軸の平均得点をゼロに調整することにより行われる (Gauch 1982)。本研究では、この除歪対応分析を雑草植生の季節変化を分析するために用いた。

TWINSpan (二元指標種分析 ; Hill 1979) は、ブラウン-ブランケ法 (Braun-Blanquet 1964) に類似した分類手法である。すなわち、いずれも指標種に着目して調査地点と種を同時に分類し、再配列表を得る。両者の決定的な相違の一つとして、TWINSpan が雑草の在・不在だけでなく優占度も考慮するという点が上げられる。雑草植生の分析にあたっては、作物生産に対する雑草の影響を常に配慮する必要があるが、影響の程度は、当然のことながら雑草の優占度と関係がある。その点で、TWINSpan は雑草植生の分類により適した手法であると考えられる。このため、本研究では、この TWINSpan を不耕起および耕起畑における雑草植生の分類に用いた。

### 1. 材料および方法

#### 1) 調査地点

表3に調査地点の概要を示した。調査地点は、耕起畑が10地点 (TG01 ~ TR10)、耕起から不耕起へ移行した畑が4地点 (TN01 ~ TN04)、不耕起畑が12地点 (NG01 ~ NF12) である。全ての調査地点は東北農業研究センター畑地利用部 (福島市) の試験圃場である。この試験圃場は、蔬菜畑や採草地として利用されていた場所を1984年に階段状に均平化して造成された。

これらの調査地点のうち、NG01とTG01はそれぞれ不耕起畑、耕起畑で、いずれも調査時点まで10年間同じ作付体系 (オオムギ・ダイズ) および同じ栽培方法が続けられていた。この2つの畑ではダイズ、オオムギとも同じロットの種子が毎年それぞれ6月および10月の同じ日に播種されてきた。

NH01 (不耕起畑) では、播種時に播種溝が切られたほかは、土壌は一切攪乱されていない。また、除草は機械除草または手取り除草により行われた。TG01 (耕起畑) は作物の播種前にロータリー耕が施され、播種後に土壌処理型の除草剤 (オオムギに

表3 調査圃場の概要

圃場 コード <sup>1)</sup>	(面積)	前作または作付体系 <sup>2)</sup>	2000年夏作					2000-2001年冬作				
			耕耘 <sup>3)</sup>	作目	除草剤 <sup>4)</sup>		調査 <sup>5)</sup>	耕耘 <sup>3)</sup>	作目	除草剤 <sup>4)</sup>		調査 <sup>5)</sup>
					土壌処理	茎葉処理				土壌処理	茎葉処理	
<b>【耕起畑】</b>												
TG01	(6a)	オオムギ-ダイズの1年2作 (12年連続)	+	ダイズ	+	-	*	+	オオムギ	+	-	*
TH02	(3a)	冬作コムギ	+	ヒマワリ	+	-	*	+	コムギ	+	-	*
TF03	(3a)	冬作コムギ	+	休閑	-	-	*	+	ライムギ			
TB04	(4a)	キャベツ単作(3年連続)	+	キャベツ	-	-	*					
TG05	(7a)	シロツメクサ(-)	+	ダイズ	+	-	*					
TG06	(7a)	シロツメクサ(-)	+	ダイズ	+	-	*					
TG07	(7a)	シロツメクサ(-)	+	ダイズ	+	-	*					
TG08	(3a)	シロツメクサ(-)	+	ダイズ	+	-		+	休閑	+	-	*
TG09	(3a)	シロツメクサ(-)	+	ダイズ	+	-		+	休閑	+	-	*
TR10	(3a)	ダイコン-オオムギの1年2作 (2年連続)	+	ダイコン	+	-		+	コムギ	+	-	*
<b>【耕起から不耕起に移行した畑】</b>												
TN01	(3a)	シロツメクサ(-)	+	ダイズ	+	-		-	休閑	-	-	*
TN02	(3a)	シロツメクサ(-)	+	ダイズ	+	-		-	休閑	-	-	*
TN03	(3a)	シロツメクサ(-)	+	ダイズ	+	-		-	オオムギ	+	-	*
TN04	(3a)	シロツメクサ(-)	+	ダイズ	+	-		-	オオムギ	-	-	*
<b>【不耕起畑】</b>												
NG01	(6a)	オオムギ(-)-ダイズ(-)の1年 2作(12年連続)	-	ダイズ	-	-	*	-	オオムギ	-	-	*
NZ02	(30a)	緑肥(-)-トウモロコシ(-)の1 年2作(3年連続不耕起)	-	トウモロ コシ	+	-	*	-	クリムゾン クローバー	+	-	*
NF03	(6a)	12年連続不耕起	-	休閑	-	-	*	-	休閑	-	-	*
NF04	(5a)	5年以上連続不耕起	-	休閑	-	-	*	-	コムギ	-	-	*
NF05	(5a)	5年以上連続不耕起	-	休閑	-	-	*	-	コムギ	-	-	*
NF06	(15a)	ヘアリーベッチ(-)	-	休閑	-	-	*	-	ライムギ	-	-	*
NG07	(1a)	冬作オオムギ	-	ダイズ	-	-	*	-	ライムギ	-	-	*
NG08	(1a)	冬作オオムギ	-	ダイズ	+	+	*	-	ライムギ	-	-	*
NB09	(1a)	冬作オオムギ	-	キャベツ	-	-	*	-	ライムギ	-	-	*
NB10	(1a)	冬作オオムギ	-	キャベツ	+	+	*	-	ライムギ	-	-	*
NF11	(1a)	冬作オオムギ	-	休閑	-	-	*	-	ライムギ	-	-	*
NF12	(1a)	冬作オオムギ	-	休閑	+	+	*	-	ライムギ	-	-	*

注. 1) 圃場コード: 耕起の有無と2000年夏作の作目の略号の組み合わせにより生成した。略号の意味は次の通りである。  
T: 耕起, N: 不耕起, G: ダイズ, H: ヒマワリ, F: 休閑, B: キャベツ, R: ダイコン, Z: トウモロコシ。

2) (-)は不耕起栽培を示す。

3) +は耕起栽培を, -は不耕起栽培を示す。

4) +は除草剤を散布し, -は除草剤を散布しなかった。

5) \*は調査2を実施した圃場であることを示す。

はペンディメタリン, ダイズにはトリフルラリン)が通常量散布され, ダイズ栽培時にはさらに1回ないし2回の中耕が行われた。

## 2) 雑草植生の季節消長

合計26の調査地点のうち10年間同じ作付体系が続けられたNG01(不耕起畑)とTG01(耕起畑)について, 雑草植生を1998年11月から2000年11月までの2年間, コドラート法(方形の枠を設置し, 枠内の植生を調べる方法)により毎月1回調査した。

作物の条間に合わせて設定した1m×0.3mの方形枠について, 出現全種の被度と草高を調査した。方形枠はそれぞれの畑について54枠設けたが, そのうち27枠は作物の条付近, 27枠は条間に設け, それらの平均値を条付近および条間の値とし, 2つの値の平均値を当該圃場の代表値とした。

## 3) 雑草植生の分類

表3に示したすべての地点について, 2000年の8月または9月上旬および2001年の5月下旬の

2回またはそのどちらか一回、コドラート法により植生調査を行った。これらの2回の調査結果をそれぞれ夏作期および冬作期のデータと考えた。調査内容は方形枠内に出現した全種の被度および草高である。調査時期は後述するように、季節消長の調査結果に基づいて決定した。調査は1地点あたり8枠以上設定した方形枠について実施した。方形枠の大きさは作物の条付近と条間の植生調査の違いによる歪みが生じないように、作物の条方向に1 m、幅は作物の条間と同じまたはその倍数に設定した。例えば、作物の条間が0.65mの場合には1 m × 0.65mに、0.3mの場合には1 m × 0.6mに設定した。ただし、雑草植生に前作の痕跡を残さない休閒畑については、1 m × 1 mに設定した。

4) データの解析

出現全種について、乗算優占度 (MDR) を算出した (第II章参照)。

また、調査1において、次により Shannon の多様度指数 ( $H'$ ; Magurran 1988) を算出した。

$$H' = - \sum_i p_i \ln p_i, \quad p_i = n_i / \sum_i n_i,$$

ここで、 $n_i$  は  $i$  番目の種の乗算優占度である。

植生データについて、乗算優占度、被度および在・不在を指数として多変量解析を実施した。具体的には、第一の調査において、雑草植生の季節変動を解析するために除歪対応分析を、第二の調査において、不耕起および耕起畑の雑草植生を分類するために TWINSPAN を実施した。これらの解析はいずれも McCune and Mefford (1999) のコンピュータプログラムにより計算を行った。

2. 結 果

1) 雑草植生の季節消長

10年間同じ作付体系が続けられた2つの地点において雑草植生の季節消長を調べたところ、NG01 (不耕起畑) および TG01 (耕起畑) では2年間にそれぞれ20科40種および18科49種が認められた。NG01 (不耕起畑) ではイネ科多年生雑草 (6種) やナデシコ科 (4種) が、TG01 (耕起畑) ではキク科 (14種) やアブラナ科 (3種)、カヤツリグサ科 (4種) が多く見られた。雑草についての乗算優占度の和 (図5(a)) は、8月から9月の間に増加したが、これは一年生夏雑草の繁茂によるものである。NG01 (不耕起畑) では多年生雑草が年間を通じて存在したため、乗算優占度の和は0になるこ

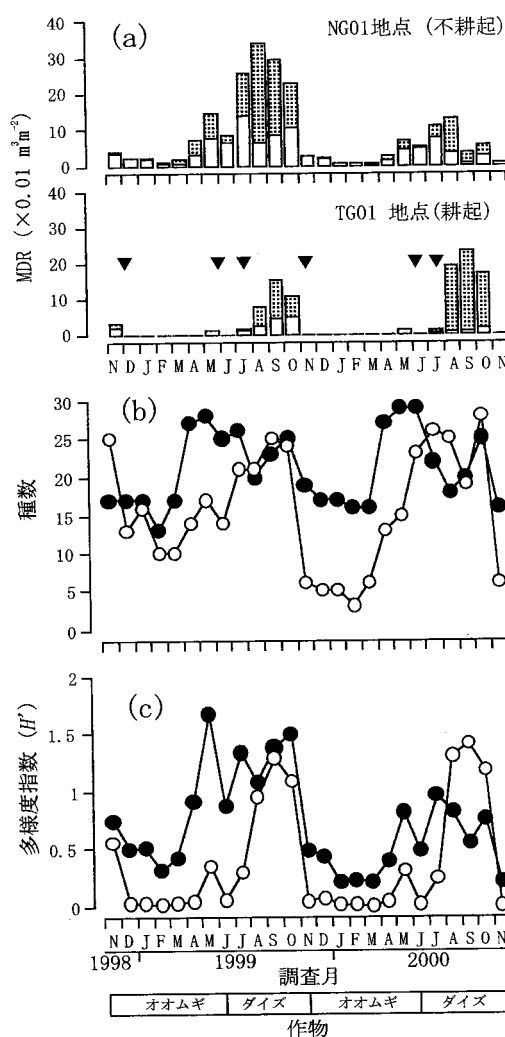


図5 10年間同じ作付体系が続けられた2地点における雑草の乗算優占度 (MDR) の季節消長(a)、出現雑草種数(b)および雑草群集の多様度指数(c)

(a)において、 $\square$ および $\square$ はそれぞれ一年生雑草および多年生雑草を示す。 $\blacktriangledown$ は耕耘時期 (中耕を含む) を示す。

(b)および(c)において、 $\bullet$ および $\circ$ はそれぞれNG01地点 (不耕起) およびTG01地点 (耕起) を示す。

とはなかった。一方、TG01 (耕起畑) では冬季は乗算優占度は0かそれに近い値であった。種数については、TG01 (耕起畑) では夏季、特に9月頃に最大となり、冬季には著しく減少した (図5(b))。観察された種数は、NG01 (不耕起畑) では、オオムギ収穫直前の5月頃および9月から10月に2回のピークが認められたが、年間を通じての変動はTG01 (耕起畑) よりも小さかった。Shannonの多様度指数は、年間を通じてNG01 (不耕起畑) で若干高く推移している傾向が認められた (図5(c))。

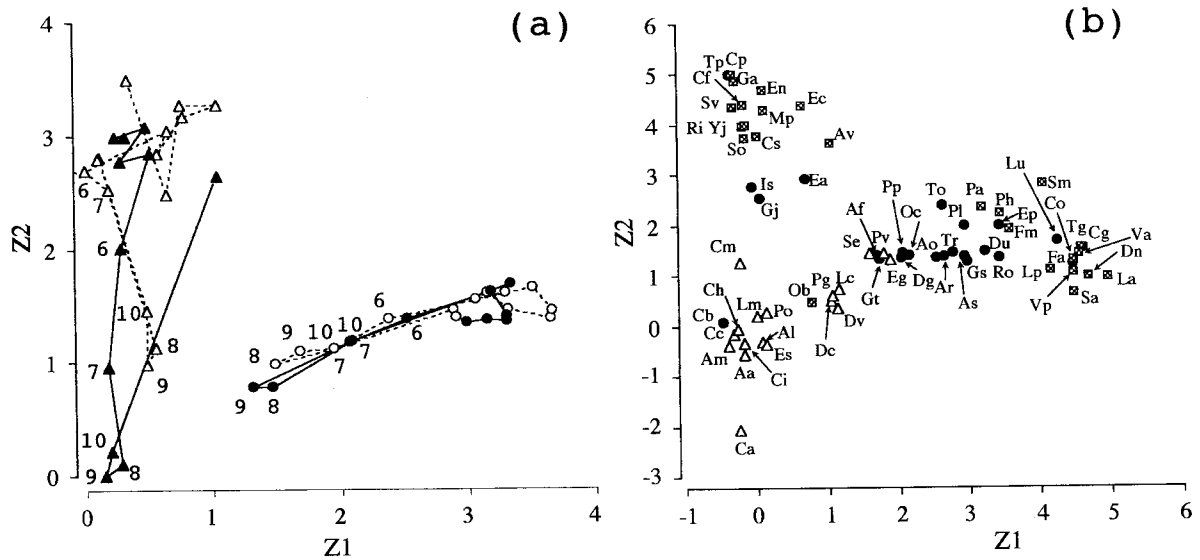


図6 除歪対応分析 (DCA) による調査地点(a)および雑草種(b)の座標付け

(a) ○および●はNG01地点(不耕起)における1999年および2000年のデータを, △および▲はTG01地点(耕起)における1999年および2000年のデータを示す。1999年の調査は1998年11月~12月, 2000年の調査は2000年1月~11月に実施した。図中の数字は, 調査月(夏作期間のみ表示)を示す。  
 (b) ●, ■および△はそれぞれ多年生雑草, 冬生一年生雑草+二年生雑草および夏生一年生雑草を示す。種の略号: Aa=エノキグサ, Af=ヒナタイノコヅチ, Al=イヌビユ, Am=ブタクサ, Ao=ハルガヤ, Ap=ヨモギ, Ar=アオカモジグサ, As=Agrostis sp., Av=カラスムギ, Ca=チャガヤツリ, Cb=ヒメクグ, Ci=カヤツリグサ, Cc=ツククサ, Cf=タネツケバナ, Cg=オランダミミナグサ, Co=ミミナグサ, Ch=シロザ, Cm=トキンソウ, Cp=ナズナ, Cs=オオアレチノギク, Dc=メヒシバ, Dv=アキメヒシバ, Dg=カモガヤ, Dn=イヌナズナ, Du=ヘビイチゴ, Ea=スギナ, Ec=ヒメムカシヨモギ, En=ヒメジョオン, Ep=ハルジオン, Eg=イヌビエ, Es=コニシキソウ, Fa=オニウシノケグサ, Fm=ナギナタガヤ, Ga=チチコグサ, Gj=ハハコグサ, Gs=ヤエムグラ, Gt=ゲンノショウコ, Is=イワニガナ, La=ホトケノザ, Lp=ヒメオドリコソウ, Lc=アゼガヤ, Lm=ヒンジガヤツリ, Lu=スズメノヤリ, Mp=トキワハゼ, Ob=メマツヨイグサ, Oc=カタバミ, Pa=スズメノカタビラ, Pp=ナガハグサ, Pq=イヌタデ, Pv=ハルタデ, Ph=ヒメミカンソウ, Pl=オオバコ, Po=スベリヒユ, Ri=スカシタゴボウ, Ro=エゾノギシギシ, Sa=ウシハコベ, Sm=コハコベ, Se=アキノエノコログサ+キンエノコロ, So=オニノゲシ, Sv=ノボロギク, Tg=キュウリグサ, To=セイヨウタンポポ, Tp=アカツメクサ, Tr=シロツメクサ, Va=タチイヌノフグリ, Vp=オオイヌノフグリ, Yj=オニタビラコ。

図6は, 乗算優占度に基づく除歪対応分析による調査地点(a)および種(b)の座標付けの結果である。これらの2つの圃場における雑草植生の季節消長は明確に異なった。第一軸については, 多くの多年生雑草のスコアは中庸またはやや高く, 多くの一年生または二年生の雑草のスコアは小さかったが, 冬雑草の一部は多年生雑草よりも高いスコアを示した。また, 第二軸については, 冬雑草のスコアは大きく, 夏雑草のスコアは小さかった。この除歪対応分析による座標付けの結果は, TG01(耕起畑)では季節的に夏雑草と冬雑草の入れ替わりが明瞭である一方, こうした季節変動はNG01(不耕起畑)では相対的に不明瞭であると解釈される。これは, NG01(不耕起畑)では多くの多年生雑草が年間を通じて認められたことによる。しかしながら, 夏季はメヒシバなどの一年生夏雑草が両方の圃場で優占したた

め, 両圃場のプロットは互いに近くに位置づけられた。さらに, *Veronica* spp. (オオイヌノフグリ, タチイヌノフグリ), *Lamium* spp. (ヒメオドリコソウ, ホトケノザ), オランダミミナグサ, イヌナズナなどの一年生または二年生の冬雑草は第一軸について多年生雑草よりも大きなスコアを示した。これは, これらの種が, その生活環にかかわらず, 耕起畑よりも不耕起畑に特徴的に多く見られる種であることを示唆する結果であると考えられる。

夏作期の雑草の乗算優占度の和は, いずれの圃場においてもダイズの条間よりも条付近で大きかった。これは, 条間で雑草管理がより効果的に行われたためである。しかし, 条付近および条間の雑草植生は, 除歪対応分析による座標付けにおいて, 相互に極めて近く位置づけられ(データ略), 種組成において, 両者には差異が認められなかった。この結

果は、雑草量の多寡にかかわらず、種組成に関しては、条付近と条間を必ずしも別個に調査する必要はないことを示すものである。

植生構造が典型的であることや乗算優占度の和が大きくなることから、植生調査をそれぞれ1回だけ行う場合には、夏作期としては8月から9月、冬作期としては5月前後が調査時期としては適切であると考えられた。さらに、これらの時期は作物の生育にとっても重要な時期にあたることから、得られたデータは作物に対する最終的な雑草害と密接な関係があると思われる。

## 2) 雑草植生の分類

合計26地点の調査の結果、夏季および春季の調査でそれぞれ21科61種、15科56種が確認された。生活環の内訳は、夏および春がそれぞれ一年生雑草40種、多年生雑草21種および一年生雑草36種、多年生雑草20種であった。在・不在に基づくTWINSPANの分類結果は解釈が困難であった。乗算優占度および被度に基づく分類の結果は類似していたが、乗算優占度によるものの方がより明確に分類され、結果の解釈も比較的容易であった。表4および表5は乗算優占度に基づくそれぞれ夏季(夏作期)および春季(冬作期)の植生の分類結果である。調査圃場の植生は、夏季、春季ともに、不耕起を継続した期間に応じて3類型に分類された。TWINSPANで分類された植生タイプIおよびIIはそれぞれ主として耕起畑および3年未満の不耕起畑からなり、植生タイプIIIは3年以上の不耕起畑のみからなっていた。しかしながら、不耕起の有無およびその継続期間以外の要因、例えば作物の種類や除草剤の効果は明らかでなかった。したがって、植生タイプI、IIおよびIIIはそれぞれ耕起型、短期不耕起型および長期不耕起型の植生であると判断された。

夏季における植生タイプIは、イヌタデを除くタデ類、シロザなどの一年生夏雑草により特徴づけられた(表4)。シロツメクサ、ハルガヤ、エゾノギシギシなどの多年生雑草は植生タイプIIIにのみ認められた。植生タイプIIは、オニタビラコ、チチコグサ、ハハコグサなどのキク科雑草やツユクサにより特徴づけられた。ハルジオン、ヒメジョオン、ヒメムカシヨモギ、セイヨウタンポポなどのキク科の二年生および多年生雑草は、植生タイプIIおよびIIIに共通して見られた。メヒシバやアキノエノコログサは、全ての植生タイプに見られた。特にメヒシバは、

多くの圃場で優占した。

10年間耕起が続けられた圃場であるTG01(耕起畑)の植生は、耕起畑としてはやや特殊な場所に位置づけられたが、これは、キク科雑草が相対的に多く見られたことによる。類似の作用性を持つ除草剤を長年連用したことが、見かけ上、短期不耕起型に類似した種組成を示した理由であると考えられた。

春季には、ハルガヤやエゾノギシギシなどの多年生雑草は植生タイプIIIにのみ認められ、また*Veronica* spp.はこの植生タイプに特徴的に見られた(表5)。オニタビラコ、セイヨウタンポポ、ヒメジョオン、メマツヨイグサなどは植生タイプIIに多く見られた。ハルジオンは植生タイプIIおよびIIIに共通してみられ、ナズナやコハコベは全ての植生タイプに共通してみられた。植生タイプIについては、指標的な種は認められなかった。

## 3. 考察

多くの一年生雑草は、不耕起畑よりも耕起畑で優占度が高いことが予想されたが、実際には一年生雑草は不耕起畑でも多く認められ、さらにそのうちのいくらかは明らかに不耕起畑を好む傾向があった。特に、夏季には植生タイプにかかわらず一年生雑草が優占したが、この結果は、これまでのいくつかの報告例(Thomas and Frick 1993, Mohler and Callaway 1995)と一致している。メヒシバ属やエノコログサ属などのイネ科一年生雑草が不耕起畑での優占することは多数報告されてきたが(Buhler 1992, 1996, Buhler and Oplinger 1990, Cardina *et al.* 1991, Herron *et al.* 1971, Mohler and Callaway 1995, Schreiber 1992, Stahl *et al.* 1999, Thomas and Frick 1993)、本研究において最も重要な夏雑草は、イネ科一年生雑草であるメヒシバであった。これらの結果は、不耕起畑であっても、夏畑作物で防除目標となる雑草は一年生夏雑草であり、特にメヒシバなどのイネ科雑草が問題となることを示すものである。

不耕起畑への二年生および多年生雑草の侵入および定着に関しては、次のような一般化が可能である。すなわち、

- ・風散布型(風に飛ばされて種子が広がっていく型)の種子を持つキク科の二年生または多年生雑草は短期間のうちに不耕起畑に侵入する。
- ・種子を散布させるための特別なしくみを持たない多年生雑草は、圃場が1年以上不耕起で維持された場合に、徐々に増加する。



表5 TWINSPAN<sup>1)</sup>による春季の雑草植生の再配列結果

圃場コード <sup>2)</sup>		・TH02	・TG01	・TR10	・TF03	・TG09	・TG08	○TN03	○TN04	○TN02	○TN01	□NB10	□NB09	□NG08	□NG07	□NF12	□NF11	□NF06	■NF03	■NF05	■NF04	■NG01	■NZ02												
植生タイプ <sup>3)</sup>		I										II						III																	
調査枠面積 (m <sup>2</sup> )		0.7	0.6	1.0	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0												
調査枠数		10	18	18	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	18	12												
F <sup>4)</sup>	種名	LC <sup>5)</sup>	DF <sup>6)</sup>	MDR (×0.001m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> ) <sup>7)</sup>																															
Ast	ヨモギ	p	4					0	0					2	3	2		3	3					1						1					
Ast	ヒメジョオン	b	1	0					0		1	16	2			2	51	6	2		1								1						
Ast	ブタクサ	a	4	1								0		0	0	0																			
Ast	ハルジオン	b	1								0	1					2	1																	
Ast	チチコグサ	b	1									0	0	1			2	5	0																
Ast	ハハコグサ	p	1									0	0				1	4			0														
Ast	ノボロギク	a	1		0							0	0				0	1																	
Ast	セイヨウタンポポ	p	1						0	0		4	2	1	3	7	10	13											1						
Ast	オニタビラコ	a	1						0	0		4	17	13	6	6	52	64			0														
Scr	トキワハゼ	a	4														0																		
Ona	メマツヨイグサ	b	4		0			0		0		2		4	0			1	1																
Fab	ナヨクサフジ	a	4																																
Car	ノミノフスマ	a	4																																
Car	ウシハコベ	a	4																																
Poa	ヌカキビ	a	4									0	0		0																				
Ast	イワニガナ	p	1	1																															
Pol	ハルタデ+オオイヌタデ	a	4	0	0	0	0	1	0	0		0	0	0	0	0	0	0	1																
Che	シロザ	a	4				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																			
Com	ツユクサ	a	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0																		
Bra	タネツケバナ	a	3					0			1																								
Bra	イヌガラシ	p	4				0	0	0									1																	
Bra	スカシタゴボウ	a	4		0	0																													
Poa	スズメノテッポウ	a	4							0																									
Poa	メヒシバ	a	4							0	0						0																		
Poa	イヌビエ	a	4				0	0	0		0																								
Ara	カラスビシャク	p	4		0																														
Bra	ナズナ	a	4	1	0	0	2	0	0	0	2	26	15	0	0	1	0	49	0	13							2		35						
Pol	イヌタデ	a	4				0	0	0	0		0	0	0			0	0												0					
Fab	シロツメクサ	p	4				0	0	0	0	0																			5					
Car	オランダミミナグサ	a	4				3			0	3	3	10	0	7	1	11	15	0											11	8	32	7		
Car	コハコベ	a	4	0			1	0			0	1	7	3	2	14	10	10	2	3										3	3	151			
Ast	オミノゲシ	a	1														2	1	1											0	0				
Lam	ホトケノザ	a	4				0																							0					
Equ	スギナ	p	1	1	5	0	0								0		1	0	0											0	1	1	5		
Ast	ハルジオン	p	1		1	0									35	4	25	12	26	35	7									58	43	39	35	20	
Oxa	カタバミ	p	3.2									0						0	0											1	0	1	1		
Scr	トキワハゼ	p	4																											0					
Scr	タチイヌノフグリ	a	4															0		0									1	5	10	9	1		
Scr	オオイヌノフグリ	b	4				0																							5	5	1	11		
Lam	ヒメオドリコソウ	b	4																										0			17	11		
Lam	キュウリグサ	a	4																										0			1			
Fab	カラスノエンドウ	a	3																											0	0				
Bra	イヌナズナ	a	4																											0	0	1	14		
Pol	ヒメスイバ	p	4																											4	5				
Pol	エゾノギシギシ	p	4																										0	6	19	0			
Car	オランダミミナグサ	a	4																										0	0		0			
Car	ツメクサ	a	4																											0					
Poa	アオカモジグサ	p	4																														2		
Poa	Agrostis sp.	p	4																														8	12	0
Poa	ハルガヤ	p	4															0	2	1									60	12	12	39			
Poa	カモガヤ	p	4																												59	53	0		
Poa	ナギナタガヤ	a	4									0																		2	4	7	13		
Poa	ススキ	p	1																											3					
Poa	ナガハグサ	p	4																															8	
Poa	アキノエノコログサ	a	4																														0		
Jun	スズメノヤリ	p	4																														0		

注. 1)~7) 表4の脚注を参照されたい。



以上は、多年生雑草の不耕起畑への侵入速度は繁殖器官の散布様式に依存するというを示唆している。これらはまた、不耕起畑で多年草が優占する傾向があるという多くの報告 (Cussans 1975, Froud-Williams *et al.* 1983, Gebhardt *et al.* 1985, Koskinen and McWhorter 1986) と一致している。多年生雑草はいったん侵入すると、除草剤の集中的な散布以外の方法で根絶させることは難しい。したがって、耕起なしで畑地を維持していくためにはこれらの侵入を未然に防ぐことが重要である。

本章では、雑草植生に対する耕起の効果を強調したが、他の要因の効果についてはほとんど考察をしなかった。例えば、非選択性の除草剤の使用は多年生雑草の増加を遅延させる。また、選択性の除草剤を連用すると、その剤に効果の小さい特定の種の優占をもたらすと考えられる。

被度と草高の測定は単純かつ簡便であり、それらに乗じることにより算出される乗算優占度は、不耕起畑でも耕起畑でも雑草の地上部の乾物重との相関が高いことを第II章で明らかにした。そして、本章で得られた結果から、乗算優占度に基づく多変量解析は被度や積算優占度よりも理解しやすい結果をもたらすことが明らかになった。なお、他の研究で、異なる場所で異なる年に得られた植生データについても、同じ方法で同じ季節に取られたものであれば、同時に分析することができる可能性がある。これら共通の方法で得られた植生データの蓄積は、雑草防除法や気象条件が畑地雑草植生に及ぼす影響を解明するために有効である。

#### 4. 摘要

南東北地域の不耕起畑における雑草植生の特徴を明らかにすることを目的として、2段階の植生調査を実施した。データの解析は雑草の乗算優占度に基づいて行った。

10年以上不耕起および耕起栽培を継続している2つの畑で、2年間にわたって比較したところ、不耕起畑における雑草植生は、耕起畑とは違った季節消長を示した。すなわち、耕起畑では夏に夏生一年生雑草が優占し、冬には冬生一年雑草に置き換わったが、不耕起畑では、春季には多年生雑草が優占し、夏には耕起畑と同様、夏生一年生雑草が優占した。

次に、2000年夏および2001年冬の2回、不耕起畑を含む19地点および22地点の畑で植生調査を行った。TWINSPANによる分類の結果、雑草植生は夏

季、冬季のいずれについても、主として不耕起継続年数に応じて3つの植生タイプに大別することができた。

植生タイプIおよびIIはそれぞれ主として耕起畑および3年未満の不耕起畑から構成され、植生タイプIIIは3年以上の不耕起畑と一致した。植生タイプIIは主としてキク科二年生雑草または多年生雑草によって、植生タイプIIIは、植生タイプIIと同じ種に加えて、ハルガヤなどの多年生雑草の存在によって特徴づけられた。夏季は、植生タイプに関わらず、メヒシバなどの夏生一年生雑草が多くの畑で優占した。

### 不耕起ダイズ畑における主要イネ科雑草の出芽およびシードバンクの特徴

#### -1 主要イネ科雑草の出芽深度

第III章で論じたように、夏畑作では、不耕起栽培でも多くの場合、一年生夏雑草、特にメヒシバなどのイネ科が優占して防除上問題となる。一年生雑草の防除では第一に出芽抑制を考えるべきであり、どのような防除方法であれ、その効率化のためには雑草の出芽に関する特性を知る必要がある。

雑草の出芽深度は種子の大きさといった種の本来の特性のほか、土壌条件などによっても変化することが知られており、耕起が行われない不耕起畑では耕起畑と大きく異なることが予想される。出芽深度は処理層の深さとのかねあいから土壌処理型除草剤の効果に影響を及ぼす要因であり (伊藤 1989)、また、耕種的防除技術でも、カバークロープなど雑草の出芽抑制が期待されるものではその効果に大きな影響を及ぼすものと考えられる。本章では、南東北地域の畑作における主要なイネ科一年生夏雑草3種を例にとり、不耕起畑と耕起畑に自然発生した実生の出芽深度を調査し、両者を比較することにより、これらの不耕起畑での出芽深度の特徴を明らかにする。

#### 1. 材料および方法

調査対象とした種は南東北地域における夏畑作物栽培で優占する場合の多いイネ科の一年生雑草、メヒシバ、イヌビエおよびアキノエノコログサである。東北農業研究センター畑地利用部 (福島市) の試験圃場内に自然発生したこれらの実生の出芽深度を個体ごとに調査した。具体的には、宿存する穎の一部が地表に露出している個体の出芽深度を0とし、それ以外については、地際から土中に宿存する穎までの深さを測定し、その値を出芽深度とした。

1) 耕起，除草剤散布の有無および出芽時期による出芽深度の相違

2000年にダイズ（品種：スズユタカ）を慣行（耕起）栽培した後，2000年秋に不耕起無除草剤区（N-），不耕起除草剤区（N+），耕起無除草剤区（T-），耕起除草剤区（T+）を設定し，2002年まで連作した（表6）。試験区面積は0.9aで，反復はない。調査は2002年4月18日，5月22日および6月17日の3回行った。調査個体数は，4月の調査では出芽全個体，5月および6月については出芽時期を限定するため，1～3葉の個体からそれぞれ種ごとに無作為に選んだ25個体とした。ただし，出芽数が25個体を下回ることがあり，その場合には出芽全個体を調査した。

2) 出芽深度に及ぼす不耕起継続期間の影響

不耕起継続期間が異なる5つの畑（N-A，13年，T-A；6か月，N-B；3年，TN-B；11か月，TT-B；10か月）で，2002年5月10日（N-B，TN-B，TT-B）または5月31日（N-A，T-A）に出芽深度の調査を行った。供試圃場の概要を表7に示す。調査個体数は，出芽がみられた全個体から種ごとに無作為に選び50としたが，出芽数がそれを下回る場合があった。アキノエノコログサは，全ての畑でほとんど発生がみられなかったため，データとりまとめの対象としなかった。

2. 結 果

1) 耕起，除草剤散布の有無および出芽時期による出芽深度の相違

表6 雑草の出芽深度調査畑の概要

年次	2001年				2002年		
播種・収穫日	5月30日・10月22日				5月29日・10月23日		
処理区	除草剤	耕起を行った日			除草剤	耕起を行った日	
		播種前	中耕	秋耕		播種前	中耕
不耕起無除草剤区	-				-		
不耕起除草剤区	グリホサートアンモニウム塩，トリフルラリン	-	-	-	グリホサートアンモニウム塩，アラクロール・リニュロン <sup>®</sup> の混用	-	-
耕起無除草剤区	-				-		6月18日
耕起除草剤区	トリフルラリン	5月30日	7月2日	11月5日	-	5月29日	7月5日

注. 除草剤の処理量および剤型（カッコ内）は次の通りである。グリホサートアンモニウム塩：0.2g ai m<sup>-2</sup>（41%液剤），トリフルラリン：0.13g ai m<sup>-2</sup>（44.5%乳剤），アラクロール：0.13g ai m<sup>-2</sup>（43%乳剤），リニュロン：0.05g ai m<sup>-2</sup>（50%水和剤）。

表7 出芽深度におよぼす不耕起期間の影響調査を行ったダイズ畑の概要

圃場	圃場面積	不耕起継続期間	2001年夏作				2001-2002年冬作		
			ダイズ品種栽培期間	除草剤	耕耘		オオムギ品種栽培期間	除草剤	播種前耕耘
					播種前	中耕			
N-A	6.0a	13年	スズユタカ 5月21日播種， 11月6日収穫	-	-	-	べんけいむぎ 11月9日播種， 6月10日収穫	-	-
T-A	6.0a	6か月		トリフルラリン	5月21日	7月2日		ペンディメタリン	11月9日
N-B	0.3a	3年	スズユタカ 6月28日播種， 10月31日収穫	グリホサートアンモニウム塩，トリフルラリン	-	-	休閑	-	-
TN-B	0.3a	11か月		トリフルラリン	6月28日	-			
TT-B	0.3a	10か月				7月27日			

注. 除草剤の処理量および剤型（カッコ内）は次の通りである。グリホサートアンモニウム塩：0.2g ai m<sup>-2</sup>（41%液剤），トリフルラリン：0.13g ai m<sup>-2</sup>（44.5%乳剤），ペンディメタリン：0.12g ai m<sup>-2</sup>（30%乳剤）。

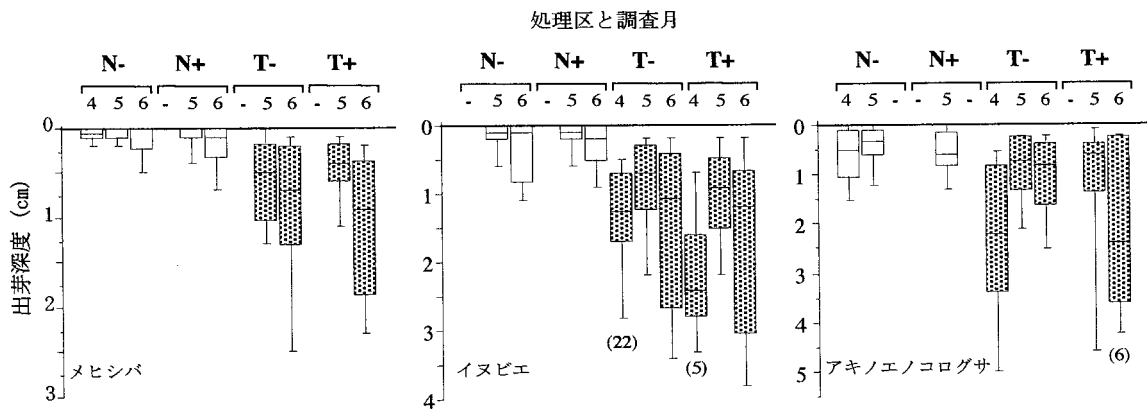


図7 不耕起畑および耕起畑におけるイネ科一年生夏雑草の出芽深度

グラフは箱ひげ図で、上側の誤差線の上端、箱の上端、箱の中央線、箱の下端および下側の誤差線の下端は10, 25, 50, 75および90パーセンタイルを表している。N-, N+, T-, T+はそれぞれ不耕起無除草剤区、不耕起除草剤区、耕起無除草剤区、耕起除草剤区を示す。白抜きは不耕起畑、網かけは耕起畑である。標本数が5未満の場合にはグラフを省略し、5以上25未満の場合にはその数を付した。それ以外の標本数は25である。

3種とも、不耕起区(N-, N+)における出芽深度は耕起区(T-, T+)に比べて浅く、深度のばらつきが少なかった(図7)。種間で比較すると、出芽深度は不耕起区、耕起区ともに、メヒシバ<イヌビエ<アキノエノコログサであった。特に不耕起区におけるメヒシバの出芽深度は浅く、半数前後の実生は地表からの出芽であり、それ以外もほとんどが0.8cm未満の浅い層からの出芽であった。無除草剤区と除草剤区の間には明確な傾向が認められなかった。出芽時期については、不耕起区では、メヒシバとイヌビエで出芽時期が遅い場合に、出芽深度がやや深い方向に広がる傾向がみられた他は、大きな違いは認められなかった。耕起区では、出芽時期による違いが大きく、特に、耕起直後に深く、ばらつきが大きくなる傾向が認められた。イヌビエとアキノエノコログサについては、4月以前に出芽した個体の出芽深度が、5月に出芽した個体よりも深い傾向がみられた。

#### 2) 不耕起継続期間が出芽深度に及ぼす影響

メヒシバとイヌビエの出芽深度は、不耕起期間が長くなるに従って次第に浅くなる傾向が認められた(図8, 図9)。特にメヒシバはごく短期間の不耕起で出芽深度が浅くなる傾向がみられた。前年にダイズを慣行栽培した後、調査時点まで不耕起状態だったTN-BやTT-Bでは、なお土中からの出芽が相当数みられた。N-Aでは作物や雑草の残さが多く、その下からの出芽があったため、13年不耕起

を継続してもなお地表より僅かに下の層からの出芽個体がみられた。アキノエノコログサについても、N-Aで少数みられた個体の出芽は全て地表付近からであった。

#### 3. 考 察

調査結果から、イネ科の主要雑草であるメヒシバ、イヌビエ、アキノエノコログサの出芽深度は不耕起畑では耕起畑に比較して明らかに浅く、特にメヒシバとイヌビエでは比較的短期間の不耕起で浅くなる傾向が明らかになった。ただし、第三章における植生調査の結果から考えると、イヌビエは不耕起期間が長くなると発生量が減少する傾向があるようである。このような出芽深度の浅化の原因としては不耕起栽培の継続による土壌の硬化のほか、シードバンクの地表への集中が考えられる。一般に耕起には雑草種子の埋土を助長する効果があるが(Baskin and Baskin 1998, Roberts 1981)、不耕起栽培では自然散布された種子の多くは地表付近にとどまるものと思われる。不耕起栽培開始前に埋土種子が多量に存在し、その死亡注)や出芽による減耗速度が遅ければ、新たに生産された種子が地表にとどまってもシードバンクの深度分布が極端に地表付近に偏ることはない。逆に、埋土種子が少なく、その減耗速度が速い場合には、シードバンクの深度分布は速やかに地表付近に集中することになる。すなわち、本章で調査を行った3種、特にメヒシバは、土中における種子の減耗速度が速いことが推察される。

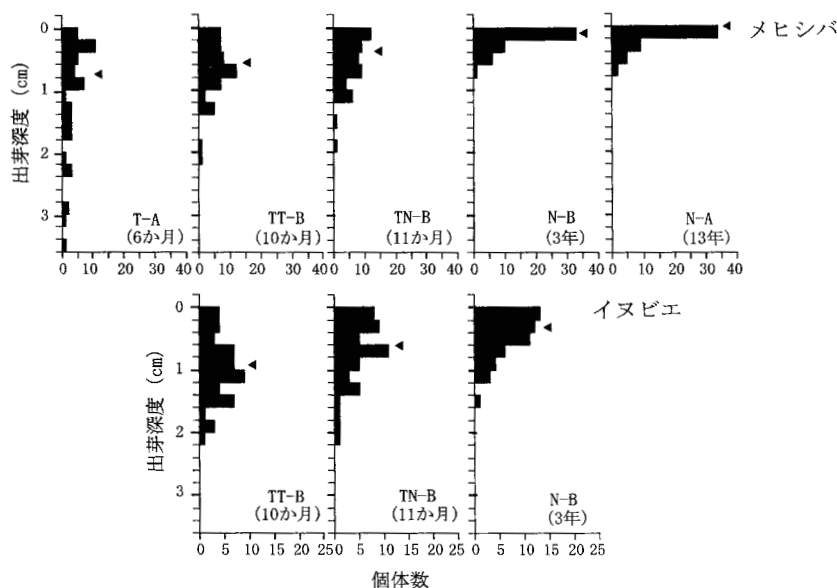


図8 不耕起継続期間が異なる畑におけるメヒシバ（上段）とイヌビエ（下段）の出芽深度の度数分布

◀は中央値を示す。標本数はいずれも50である。T-A, TT-B, TN-B, N-BおよびN-Aはそれぞれ不耕起を6か月、10か月、11か月、3年及び13年間継続した畑である。

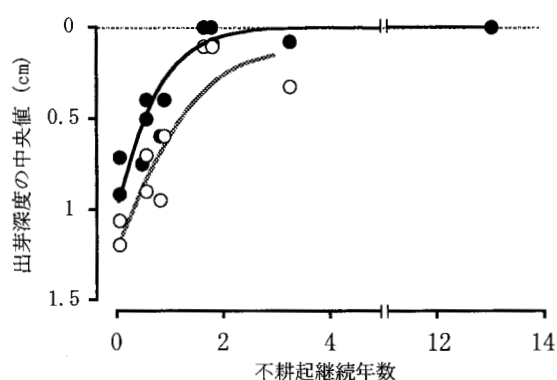


図9 メヒシバとイヌビエの出芽深度と不耕起継続年数の関係

●および○はそれぞれメヒシバおよびイヌビエを示す。各プロットは調査圃場における各草種の出芽深度の中央値である。  
図8のデータに、図7のデータを追加した。

注) 本論文では、種子を含めた生活史の全ての段階において植物が生命を失うことを、その原因を特定せずに表現するのに「死亡」を用いた。

この出芽深度の浅化は、雑草防除技術を考える上で重要な情報である。例えば、通常、土壤処理型除草剤は表層付近に処理層を形成するが、その深さは剤の土壤中での移動性に依りて異なる。出芽前の雑草の種子、幼芽、幼根あるいは生育初期の雑草の根

系から吸収させて防除する(伊藤 1993)という土壤処理型除草剤の特性を考えれば、不耕起栽培では移動性が小さく、処理層が表層付近に限定される剤が有利となる可能性がある。ただし、吸収が主として幼芽で行われるのか、幼根で行われるかは剤によって異なり(Knake et al. 1967), また、出芽深度が同じであっても中胚軸の伸長特性に起因する生長点深度の違いによって、土壤処理型除草剤に対する反応が異なることも報告されている(森田 1994)。出芽深度に加え、これらの情報を総合的に検討することで、不耕起栽培において土壤処理型除草剤の合理的な使用が可能になると考えられる。

一方、物理的または化学的に埋土種子を減少させる技術についても検討されてきている。これらは地表から熱水(牛木ら 2002)やある種の化学物質(野口・中谷 1992)を散布することで埋土種子を殺そうとするものであり、エネルギーや薬量の効率から考えて、不耕起栽培との組み合わせによって、その効果を高めることができる可能性がある。さらに、多くの雑草種子は光や変温によって発芽が促進されると考えられている(Wesson and Wareing 1967, 1969, Thompson and Grime 1983)。したがって、地表からの出芽は、なんらかの被覆による光量の低減や土壤温度の日較差の縮小を通じて、雑草の

出芽を抑制し、効果的に抑草できる可能性がある。不耕起畑におけるイネ科夏雑草の防除は、こうした出芽深度に関する特徴を踏まえて、効率よく行うことが重要である。

#### 4. 摘 要

13年連続不耕起畑を含む複数の圃場において、主要なイネ科夏雑草であるメヒシバ、イヌビエおよびアキノエノコログサの出芽深度を調べた。

出芽深度は不耕起畑、耕起畑のいずれにおいてもメヒシバ<イヌビエ<アキノエノコログサであった。

出芽深度は3種いずれも不耕起畑で耕起畑よりも明らかに浅く、また、不耕起期間が長くなるほど浅くなる傾向にあることが分かった。

とくにメヒシバは1年未満の不耕起で出芽深度が浅くなり、ほとんどが地表または地表付近からの出芽となることが明らかになった。その原因としては、シードバンクの地表への集中が考えられた。

不耕起畑におけるイネ科夏雑草の防除においては、このような出芽深度の特徴を活用することが重要である。

#### -2 メヒシバのシードバンクと発芽生態

雑草の生育場所としての不耕起畑と耕起畑の決定的な相違は、耕起による土壌の攪拌の有無にある。耕起には、種子の発芽を促進する一方で、地表の種子の埋土を助ける効果が認められる(Baskin and Baskin 1998, Roberts and Ricketts 1979, Roberts and Potter 1980, 渡邊 1977)。このため、雑草種子は不耕起または省耕起栽培では耕起栽培と比べ地表付近に多くなる傾向があり(Clements *et al.* 1996, Hoffman *et al.* 1998, Dorado and Del Monte 1999, Buhler *et al.* 2001, Tørrensen *et al.* 2003)、前節で明らかにした出芽深度における相違も、このことに起因していると推察される。また、不耕起では土中に存在する種子についても、深い場所からの出芽は少なくなる傾向が認められる(Benvenuti *et al.* 2001)。このように、不耕起畑ではシードバンクの垂直分布と消長が耕起畑と異なることから、出芽数やその季節消長も変化すると考えられる。

畑作物の不耕起栽培では一般的に一年生雑草、特にイネ科雑草が増加する傾向のあることが報告されているが(Froud-Williams *et al.* 1984, Streit *et al.* 2003)、なかでもメヒシバ(*Digitaria ciliaris* (Retz.)

Koeler)は南東北地域でのダイズの不耕起栽培における最強害雑草であることを第Ⅲ章において明らかにした。

メヒシバの埋土種子に関しては、土中での寿命は3年程度と比較的短いと考えられている(高柳 1986, 伊藤 1993)。また、休眠性や発芽性に関しては、埋土位置によって翌春までの死亡率や休眠覚醒程度が異なること(露崎・中川 1987)、光発芽性を有し、変温は発芽を促進すること(露崎ら 1984)が知られている。休眠性の季節変動の有無は現時点では不明であるが(Marks and Nwachuku 1986, Baskin and Baskin 1998)、既報には、夏季以降、土中に残った種子が光発芽性を再び獲得する可能性が示されている(萩森 1965, 高林・中山 1981b)。以上は耕起畑において、または耕起畑を想定した実験系で得られた結果であり、不耕起条件でのシードバンクの消長は、その数についても、また、休眠性や発芽性についても報告例がない。

本節では、メヒシバを例として、不耕起畑におけるシードバンクの特徴、具体的には深さ別にみた種子数の消長を耕起畑との比較から明らかにする。さらに、本研究の調査対象となった東北農業研究センター畑地利用部(福島市)の不耕起ダイズ畑圃場で採種したメヒシバを用いて、発芽に及ぼす光と温度の影響を確認するとともに、これまで明らかになっていないメヒシバの光発芽性に対するフィトクロムの関与について、単色光の照射実験によって明らかにし、シードバンクからの出芽に対する環境条件の関与についての基礎的知見を得る。

#### 1. 材料および方法

##### 1) 圃場における埋土種子数の季節的变化および深度分布

##### (1) 試験区の設定

東北農業研究センター畑地利用部の黒ボク土壌の試験圃場にて2000年の夏作にダイズを全面耕起栽培して圃場を用意し、2001年早春に試験区を設定して、2001年から2003年までダイズを3作した。実験計画は4処理3反復の乱塊法であり、1区の大きさは88㎡(8m×11m)である。処理は、不耕起ダイズ単作の除草剤散布区(N1+)および無除草剤区(T1-)、耕起ダイズ単作の除草剤散布区(T1+)および無除草剤区(T1-)からなる。ダイズの播種日および収穫日は毎年5月末および10月末である。無除草剤区では、除草剤散布の代わりに、

条間の刈り取り除草（機械除草）を1作につき1回ないし数回実施した。処理区における耕起の有無、除草剤の種類と量および中耕ないし条間の刈り取り除草の回数を表8に示した。なお、本調査における試験区は、第V章に記述する圃場試験を構成する試験区の一部である。

(2) 土壌の採取

a 埋土種子数の季節的变化

試験区から、2000年秋から2003年秋まで、経時的に合計12回ないし14回、土壌を採取した。採取時期は毎年異なるが、10月ないし11月（種子の自然散布後）、4月（出芽開始直前）、7月ないし8月（出芽終了後）を基本とし、それ以外の時期にも何回か採取を行った。土壌は、断面積5cm<sup>2</sup>の土壌採取器（特注品）を用いて地表から5cmまでおよび5cmから10cmまでの2層に分けて採取した。採取場所は、各試験区の周縁部を除いて無作為に選んだ10か所、それらを層別に混合してサンプルとした。ただし、最初の採取（2000年10月）については、試験圃場全体から無作為に選んだ90か所から採取して、2001年春に設定されたブロックごとに30か所ずつを混合してサンプルとし、その平均値をもって全ての試験区についての初期値とみなした。なお、種子生産・自然散布量の指標として、2000年から2003年までのそれぞれ8月下旬にメヒシバの被度

と草高を測定し、それらを乗じることにより乗算優占度を算出した。さらに2001年から2003年までの毎年、出芽総数を調査した。乗算優占度および出芽総数の調査方法の詳細については、第V章に準じた。

b 種子の深度分布

上述した圃場試験の圃場のうち、不耕起無除草剤区および耕起無除草剤区において、2003年12月2日および2004年4月19日の2回、断面積20cm<sup>2</sup>の円筒形の土壌採取器（藤原製作所製 HS-25/30）にて、15cmの深さまでの土壌を1試験区あたり2か所から採取した。サンプルは地表から1cmまで、1cmから2cmまで、2cmから3cmまで、3cmから5cmまで、5cmから10cmまでおよび10cmから15cmまでの6層に分け、2つのサンプルを土層別に混合して、種子抽出用のサンプルとした。

(3) 土壌の調整と種子の抽出

サンプル土壌は40℃の乾燥器で2～3日間乾燥させた後、-20℃の冷凍庫内で、種子の抽出を行うまで数ヶ月～2年間保存した。解凍後、粗大な残さを除いたのち、高柳ら（1990）の浮選法を若干変更した方法で種子を抽出した。変更点は、フィルターとして0.2mm角目のポリエステルメッシュを用い、またブフナーロートではなく通常のロートを用いて、吸引した種子を含む溶液を自由落下させたことである。ポリエステルメッシュ上に残った種子を

表8 メヒシバのシードバンク調査畑の概要

処理区	年次	秋耕	ダイズ			
			播種前耕起	除草剤 <sup>1)</sup>	中耕	刈取除草
不耕起除草剤区 (N1+)	2001	-	-	T+G	-	1回
	2002	-	-	AL+G	-	1回
	2003	-	-	G, T+G	-	1回
不耕起無除草剤区 (N1-)	2001	-	-	-	-	1回
	2002	-	-	-	-	1回
	2003	-	-	-	-	1回
耕起除草剤区 (T1+)	2001	+	+	T	1回	-
	2002	+	+	AL	1回	-
	2003	+	+	T	1回	-
耕起無除草剤区 (T1-)	2001	+	+	-	1回	-
	2002	+	+	-	3回	-
	2003	+	+	-	2回	-

注. 除草剤の略号の意味は次の通りである。T=トリフルラリン：0.13g ai m<sup>-2</sup> (44.5%乳剤), AL=アラクロール：0.13g ai m<sup>-2</sup> (43%乳剤) とリニューロン：0.05g ai m<sup>-2</sup> (50%水和剤) の混用, G=グリホサートアンモニウム塩：0.16g ai m<sup>-2</sup> (41%液剤)。播種約1か月前にグリホサートアンモニウム塩：0.2g ai m<sup>-2</sup> (41%液剤) を散布した。

含む残さは、速やかに流水中で十分に洗浄した。回収された残さから、実体顕微鏡(10~20倍)下で生存種子を選び出し、その数を計測した。原則として種子の内容物が充実し、かつ変形・変色が見られないものを生存種子とみなしたが、まぎらわしいものについては穎を取り外して胚乳および胚を直接観察し、変形・変色の有無を確認した。

## 2) 圃場に置かれた種子の季節的变化

2001年にオオムギを不耕起栽培する区(前冬作オオムギ区)および不耕起のまま休閑する区(前冬作休閑区)を設けた。オオムギは10月31日に条間20cmで不耕起播種し、翌年6月4日に全量を刈り敷いた。翌日の6月5日に全ての区についてダイズを畦間60cmで不耕起播種し、同一条件で栽培した。試験区の設計は3反復の乱塊法で1区14㎡である。2001年秋に不耕起栽培1年目のダイズ畑で集団採種したメヒシバ種子を透明ポリエステルメッシュで作成した扁平な袋に100粒ずつ、種子が重ならないように封入したものを2001年11月20日に、各区とも地表と2cmの深さに複数置床した。地表への置床については可能な限り均平な場所を選び、袋を地表に密着させ、虫ピンを用いて固定した。地表、土中とも、1処理1反復1回あたり4袋(400粒)ずつを回収し、発芽性および生死の判別を行った。圃場からの回収は種子の露光をさけるため夜間に行い、純緑色の蛍光灯(ナショナル製 FL20S・G-F)に厚紙を巻くことで得た弱い光の下で発芽の有無の確認、培地への播種等の操作を行った。発芽試験にはプラスチックシャーレを用い、1%の寒天培地上に播種し、20℃(12時間)/30℃(12時間)の変温、明条件および同暗条件に置いた。明条件については、1日12時間、高温期に同調させて陽光型のハロゲンランプ(東芝製 MF400・L-J/BU-P)の光を連続照射した。置床10日後に発芽数の測定および未発芽種子の生死の判別を行った。判別方法は上述の圃場試験と同様である。

## 3) 乾燥貯蔵した種子の温度と光に対する反応

2003年10月7日に不耕起ダイズ畑で集団採種し、20℃で約3か月乾燥貯蔵したメヒシバ種子を用い、次の2つの実験を行った。

第一に、メヒシバの種子をプラスチックシャーレ内の1%の寒天培地上に播種してインキュベータ(東京理化学器械製 MTI-202)内に置き、10日間の発芽数を調べた。発芽条件は、変温幅10℃および

5℃でそれぞれ5段階および6段階(5/15℃、10/20℃、15/25℃、20/30℃、25/35℃、5/10℃、10/15℃、15/20℃、20/25℃、25/30℃、30/35℃)を設定し、それぞれについて明条件および暗条件を設けた。低温期、高温期ともに12時間で、明条件については高温期に同調させて昼白色の高演色性蛍光灯(ナショナル製 FL40S・N-EDL)を連続照射した。10日間の処理終了後、全ての発芽条件について20/30℃の明条件に移し、さらに10日後の発芽総数を調べた。供試した種子数は1処理あたり150粒で、50粒ずつを異なる3のシャーレに播種し、それぞれのシャーレにおける発芽率の平均値を当該処理における発芽率とした。統計数値の算出にあたっては、事前に逆正弦変換(スネデカー・コ克蘭1972)を施した。

第二に、プラスチックシャーレ内の1%の寒天培地上に播種したメヒシバに赤色光(R; 660nm)、近赤外光(FR; 730nm)またはそれらを交代で複数回、連続的に短時間照射する処理を施し、10日以内の発芽率を調べた。FRのみ1回、Rのみ1回ならびにR-FR、R-FR-RおよびF-FR-R-FRの順番でそれぞれ合計2回、3回および4回の照射を行う5つの処理を設定した。1回あたりの照射時間は3分であり(例えばR-FR-R-FRの照射は合計12分)、そうした一連の処理を24時間ごとに10回繰り返した。単色光はハロゲンランプ(JCD100V 150W2VL)にバンドパスフィルター(ケンコー製 BP-660およびBP-730)を組み合わせて作成した。照射時間以外は20℃(12時間)/30℃(12時間)の変温、暗条件に置いた。供試した種子数は1処理あたり150粒であるが、50粒ずつを異なるシャーレに播種し、それぞれ別個に処理を施して3反復とみなした。発芽率の算出は上述の試験と同様の方法による。

## 4) 圃場に置かれた種子の発生盛期における光質と変温に対する反応

2002年9月11日に不耕起ダイズ畑で集団採種し、20℃で乾燥貯蔵しておいたメヒシバの種子を透明ポリエステルメッシュで作成した扁平な袋に種子が重ならないように封入し、同年12月25日にオオムギ栽培畑内の地表に置床した。これを不耕起畑におけるメヒシバの発生盛期にあたる2004年5月24日に回収し、プラスチックシャーレ内の1%の寒天培地上に播種してインキュベータ(東京理化学器械製 MTI-202)内に置き、置床10日後に発芽数の

測定および未発芽種子の生死の判別を行った。圃場からの回収、播種や生死の判別方法は上述の圃場試験と同様である。発芽条件は、温度については変温幅 10℃および 5℃でそれぞれ 5 段階（5/15℃、10/20℃、15/25℃、20/30℃、25/35℃；10/15℃、15/20℃、20/25℃、25/30℃、30/35℃）を設定し、それぞれについて明条件、暗条件および低 R/FR 条件を設けた。低温期、高温期ともに 12 時間で、明条件については高温期に同調させて昼白色の高演色性蛍光灯（ナショナル製 FL40S・N-EDL）を連続照射した。低 R/FR 条件については高温期に同調させて明条件と同じ蛍光灯に濃緑色の着色アクリル板（三菱レイヨン製 アクリライト #540）を組み合わせたものと、緑色白熱灯（東芝ライテック製 SIGN100/110V10SEGA）を併用することで、オオムギによる緑蔭に類似する分光特性を有する光（R/FR 比は概ね 0.1）を連続照射した。供試した種子数は 1 処理あたり 150 粒で、50 粒ずつを異なる 3 のシャーレに播種し、それぞれのシャーレにおける発芽率の平均値を当該処理における発芽率とした。統計数値の算出にあたっては、事前に逆正弦変換（スネデカー・コ克蘭 1972）を施した。

## 2. 結 果

### 1) 圃場における埋土種子数の季節的変化および深度分布

#### (1) 埋土種子数の季節的変化

1 回目の土壌採取は、試験区設定前の 2000 年に夏作としてダイズを耕起栽培し、収穫した直後であるが、その時点ですでに種子は下層にはほとんど無く、上層のみに見られた（図 10）。その後、不耕起除草剤区（N1+）および不耕起無除草剤区（N1-）では、上層の種子は春から初夏にかけて急激に減少し、夏季には著しく少なくなった。その後、新たな種子の自然散布があると急激に増加し、夏季には再び著しく少なくなるという消長を繰り返した。最も多くの種子が見られた時期で、1 m<sup>2</sup>あたりの種子数は不耕起除草剤区（N1+）で 667 粒から 4533 粒、不耕起無除草剤区（N1-）で 5067 粒から 7667 粒と、不耕起除草剤区（N1+）で少ない傾向が見られたが、基本的な変動パターンには違いがなかった。この間、毎年 1 m<sup>2</sup>あたりの出芽総数は不耕起除草剤区（N1+）および不耕起無除草剤区（N1-）でそれぞれ 165 個体から 664 個体および 1295 個体から 1503 個体であり、両区をこみにした場合、前年

の散布直後の上層の埋土種子量と正の相関がみられた（ $r=0.837$ ;  $n=6$ ;  $p<0.05$ ）。不耕起区（N1+, N1-）の下層の埋土種子数は試験期間を通じて著しく少ないか、全く見られなかった。下層で若干の埋土種子が認められたのは散布直後から春にかけてであるが、これは、土壌の割れ目への落下や土壌動物の活動による可能性（Thompson *et al.* 1993, 中村 2000）が否定できない。しかし実際には、土壌採取器の押し込みによる上層の種子の下層サンプルへの不可避的な混入がしばしば観察されたことから、真の値は試験期間を通じて 0 に近かった可能性が高い。

耕起除草剤区（T1+）および耕起無除草剤区（T1-）では、耕起によって、上層と下層の種子数の均一化が認められたが、夏季には上層、下層ともほとんど種子が見られなかった（図 11）。試験期間を通じて新たな種子の自然散布があると増加し、夏季には著しく減少するという変動パターンは、不耕起区と同様であった。耕起除草剤区（T1+）では耕起無除草剤区（T1-）よりも種子数は少ない値で推移したが、いずれも種子数は次第に減少する傾向が認められた。毎年 1 m<sup>2</sup>あたりの出芽総数は、耕起除草剤区（T1+）および耕起無除草剤区（T1-）でそれぞれ 36 個体から 336 個体および 112 個体から 607 個体程度であった。耕起区（T1+, T1-）における出芽総数は、不耕起区（N1+, N1-）と同様、前年の散布直後の上層の埋土種子数が多いほど多い傾向があったが、両区をこみにした場合の相関は低く（ $r=0.486$ ;  $n=6$ ）、5%水準で有意差は認められなかった。ただし、翌年春における全層の埋土種子数との相関は高く、有意であった（ $r=0.843$ ;  $n=6$ ;  $p<0.05$ ）。

#### (2) 種子の深度分布

2003 年 12 月の深さ 15 cm までの埋土種子数の合計は、不耕起無除草剤区（N1-）で最も多く、1 m<sup>2</sup>あたり 6485 粒、ついで不耕起除草剤区（N1+）で多く、1429 粒、耕起除草剤区（T1+）および耕起無除草剤区（T1-）ではそれぞれ 782 粒および 771 粒であった。深度分布は不耕起区と耕起区で明らかに異なり、前者ではほとんどの種子が 1 cm までの表層に集中していたが、後者では 15 cm の深さまでほぼ均一に分布していた（図 12）。2 回目の採取を行った 2004 年 4 月では埋土種子数は 12 月の 8%（耕起除草剤区；T1+）から 56%（不耕起除草剤



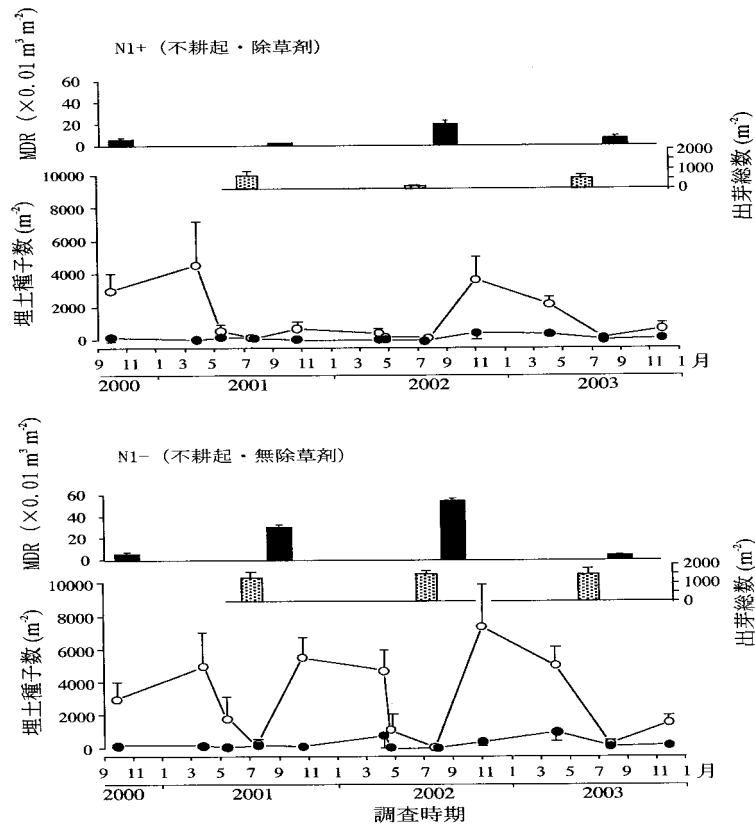


図10 不耕起区におけるメヒシバの埋土種子数の消長ならびに年次ごとの出芽総数および8月下旬の乗算優占度(MDR)

○：0～5 cm層，●：5～10 cm層のメヒシバ種子数。データはいずれも3反復の平均値と標準誤差で示す。

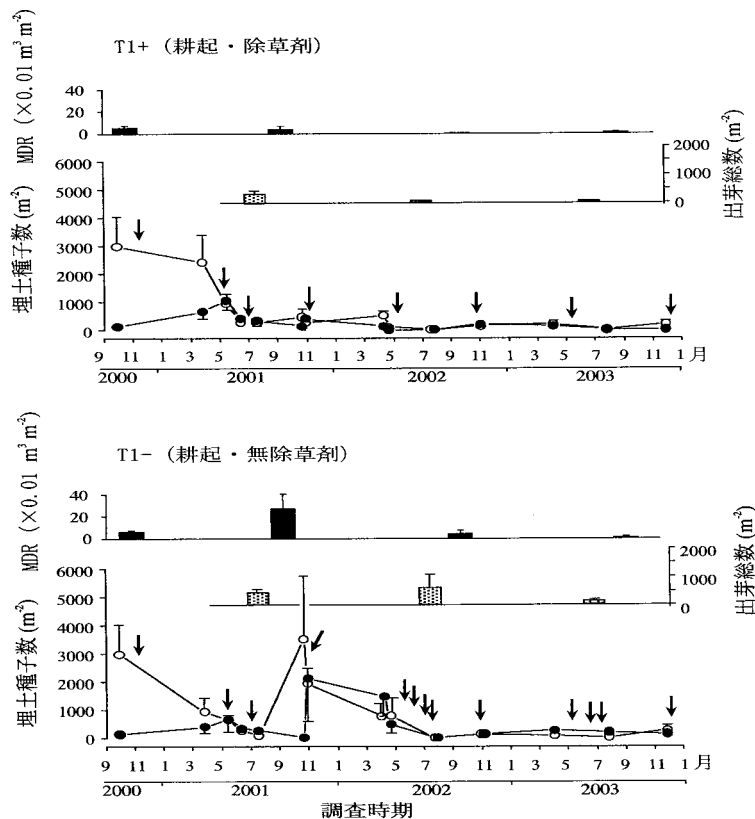


図11 耕起区におけるメヒシバの埋土種子数の消長ならびに年次ごとの出芽総数および8月下旬の乗算優占度(MDR)

○：0～5 cm層，●：5～10 cm層のメヒシバ種子数。データはいずれも3反復の平均値と標準誤差で示す。下向きの矢印は、耕起時期(中耕を含む)を示す。

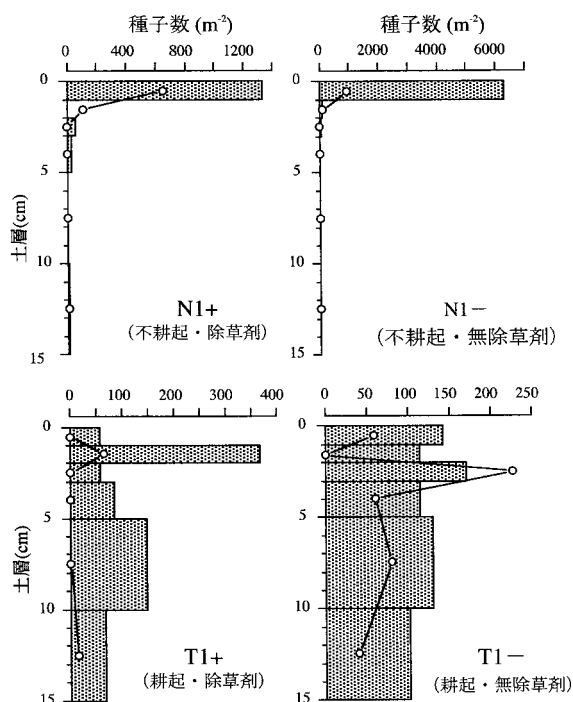


図 12 種子散布当年および翌春におけるメヒシバ埋土種子の土中深度分布

棒グラフおよび折れ線グラフはそれぞれ 2003 年 12 月 2 日（種子散布当年）および 2004 年 4 月 19 日（翌春）に採取した土壌中の種子数を示す。

区；N1+) にまで減少していた。この時点ではメヒシバの発生はまだ始まっていないので、減耗は死亡によるものと考えられた。減耗程度には埋土の深さによって傾向は認められず、不耕起区で地表に集中し、耕起区ではほぼ均一という垂直分布パターンは 12 月時点と同様であった。上述した種子数の季節消長についての調査では、上層を深さ 5 cm まで、下層を深さ 5 cm から 10 cm までで代表させたが、本調査から、不耕起区における上層の種子は、実際には表層から 1 cm 程度までの極めて浅い層に集中分布していることが明らかになった。

2) 圃場に置かれた種子の季節的变化

土中の種子は、前冬作オオムギ区、前冬作休閑区ともに、冬から春にかけて多くが死亡したため、秋以降への種子の持ち越しは 10% 程度とわずかであった（図 13）。地表に置かれた種子は、前冬作休閑区では発芽数が多かったため、また、前冬作オオムギ区では発芽数は少なかったが、その分死亡率が高

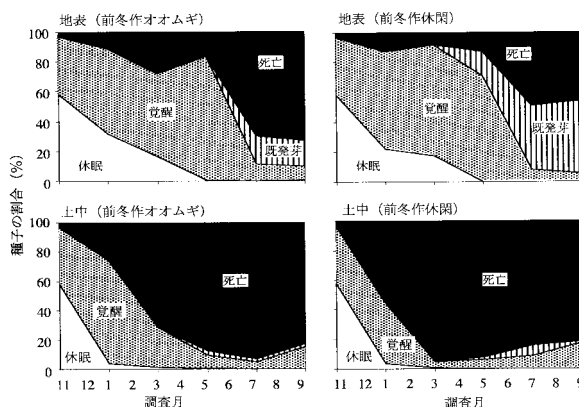


図 13 圃場条件下で地表および土中に置かれた種子の季節的变化

それぞれ 3 反復の平均値である。30℃/20℃，明条件で 10 日以内に発芽した種子を休眠覚醒種子とみなした。

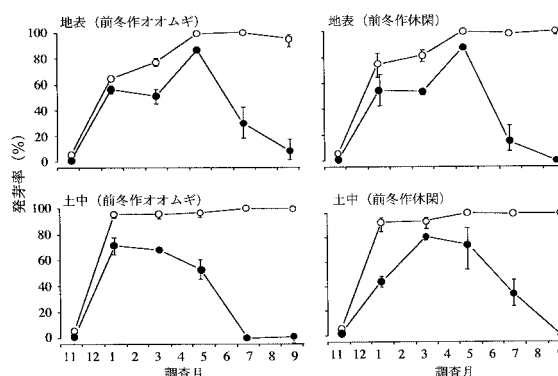


図 14 圃場条件下で地表および土中に置かれたメヒシバ種子のうち生残種子の発芽率の季節的变化

種子は前年 11 月に圃場に置いた。○および●はそれぞれ明条件および暗条件で 30℃/20℃，10 日間の発芽率で、それぞれ 3 反復の平均値と標準誤差を示す。

かったため、最終的には冬作の有無にかかわらず、秋以降への種子の持ち越しは前冬作休閑区と同様 10% 程度であった。以上から、作付体系、発芽数の多寡にかかわらず、秋以降への種子の持ち越しは 10% 程度とわずかであることが明らかになった。土中の種子は、作付体系に関わらず冬の間速やかに休眠性を失ったが、地表に置かれた種子は、休眠覚醒が若干遅れる傾向が見られた（図 14）。しかし、地表であっても、発生期である 5 月にはほぼ全ての生残種子の休眠が覚醒していた。暗条件では常に明

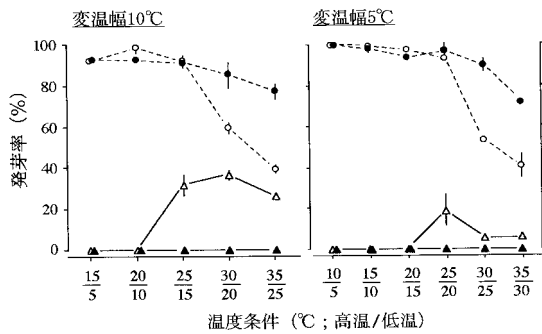


図15 メヒシバ種子の発芽に及ぼす光と変温の影響

各変温条件について、明条件および暗条件で10日間の発芽率を調べた後、すべてを30℃/20℃、明条件に移してさらに10日間(合計20日間)の発芽率を調べた。△および▲はそれぞれ最初の10日間の明条件および暗条件での発芽率を、○および●はそれらを30℃/20℃、明条件に移した後の10日間の発芽を加えた発芽率を示す。誤差線は標準誤差である(n=3)。

条件よりも発芽が劣り、特に夏から秋にかけては、地表に置かれた種子も含め、発芽率が著しく低下した。

3) 乾燥貯蔵した種子の温度と光に対する反応  
供試したメヒシバの種子は採取後3か月しか経過しておらず、休眠が十分に覚醒していない種子が多く存在したため、10日間の発芽率は最高であった20℃/30℃の明条件でも40%を超えなかった(図15)。明条件では、高温が25℃以上の温度条件で発芽が見られ、変温幅が10℃の場合に、5℃の場合よりも発芽率が高かった。暗条件では全ての温度条件で発芽が見られなかった。20℃/30℃、明条件に移した後の発芽を含めた発芽率は、高温が25℃以下の温度条件では光条件に関わらず100%近かった。高温が30℃以上の温度条件では発芽率がやや低下する傾向が見られた。明条件ではその傾向が特に顕著であり、25℃/35℃、明条件では20℃/30℃、明条件に移した後の発芽はごく少数であった。

上述の実験と同様に休眠覚醒の不十分な種子について、赤色光のみを照射した場合(R)、発芽率は50%近くになったが、近赤外光のみを照射した場合(FR)の発芽率は10%未満にとどまった(図16)。赤色光を照射しても、引き続いて近赤外光を照射した場合(R-FR)には赤色光照射の効果は打ち消され、発芽率は10%未満となった。この赤色光で発芽が促進され、近赤外光でその効果が打ち消されるという反応は可逆的であった(R-FR-R, R-FR-R-FR)。こうした赤色-近赤外光可逆的現象に

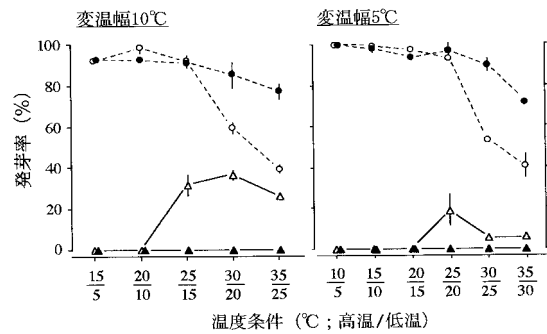


図16 赤色光(R;660nm)と近赤外光(FR;730nm)の断続照射がメヒシバ種子の発芽率に及ぼす影響

データは3反復の平均値と標準誤差で示す。

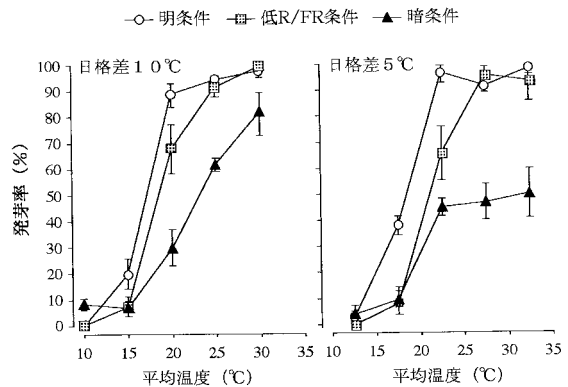


図17 地表のメヒシバ種子の発芽に及ぼす光質と変温の影響

前年秋にオオムギ畑の地表に置いた種子を翌年5月24日に回収し、発芽試験を行った。低R/FR条件におけるR/FR比は約0.1である。10日間の発芽率で、3反復の平均値と標準誤差を示す。

はフィトクロムが光受容色素として関与しているとされることから(井上1982)、メヒシバの光発芽性についてもフィトクロムが関与していると判断できる。

#### 4) 圃場に置かれた種子の発生盛期における光質と変温に対する反応

日較差10℃、5℃のいずれでも、明条件および低R/FR条件では平均温度が25℃以上の場合、発芽率は100%に近かったが、暗条件では発芽率は明らかに劣った(図17)。明条件および低R/FR条件でも低い温度域では発芽率は劣り、低R/FRではそれが顕著で、日較差10℃の場合には平均温度15℃以下、日較差5℃の場合には平均温度17.5℃

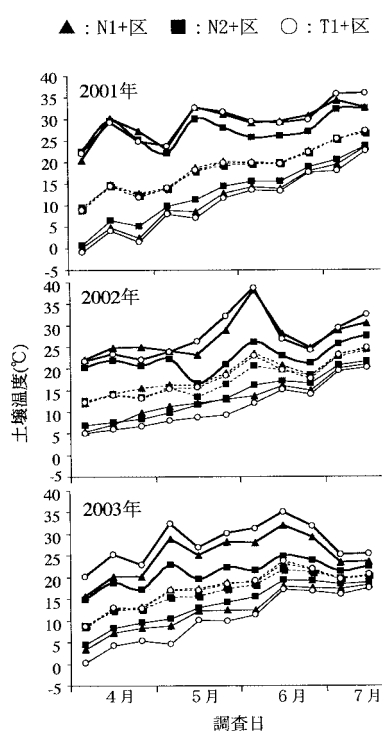


図 18 土壌の日最高温度（太線），日平均温度（点線）および日最低温度（細線）

土壌温度は地表から 0.5 cm の深さで測定した。データは 10 日毎の平均値である。

以下における発芽率は暗条件とかわりがなかった。同じ平均温度でみると，日較差 5℃では 10℃よりも発芽率は劣る傾向が見られた。発生盛期における地表の平均温度は 17℃～20℃程度であり（図 18 参照），この温度域では日較差 10℃で明条件または低 R/FR 条件では発芽率は 50%から 90%程度だったが，日較差 5℃で低 R/FR 条件では発芽率は暗条件とかわらず，10%から 30%程度であった。

### 3. 考 察

本試験の結果から，メヒシバのシードバンクは不耕起栽培では地表付近に集中するが，新たな種子が散布される直前である夏季には著しく減少することが明らかになった（図 10，図 12）。この地表への集中分布は，1 年未満の不耕起であっても観察された。一方，耕起栽培では，種子は耕起によって土壤の全層に分布するが，不耕起栽培同様，夏季には著しく減少することが明らかになった（図 11，図 12）。これらの事象は，メヒシバ種子の寿命がごく短く，次に種子が自然散布される時期まで残存する種子がわずかであることを示している（図 13）。

メヒシバ種子の出芽限界深度は砂土以外では 3～

4 cm 程度であり（伊藤 1993），平均的には 1 cm 以内と比較的浅いため，下層に位置する種子の多くは出芽することなく短期間で死亡したと考えられた。また，露崎・中川（1987）の試験結果と同様，土中の種子の死亡は地表の種子のそれよりもむしろ速やかであった（図 13）。このように，メヒシバの種子は寿命が短く，埋土によっても寿命は長くないため，耕起にはシードバンクを大きくする効果はなく，むしろ，出芽が可能な深度内の種子数を減少させることを通じて出芽数を減少させる効果が大きいと考えられた（図 11，図 12）。一方，不耕起栽培では，ほとんどの種子が，自然散布された翌年まで出芽可能な地表付近にとどまり，直接出芽数に反映するため，その数が多くなるものと考えられた。高林・中山（1981a）は，メヒシバの種子をポットの表層に播種し，攪拌を行わなかった場合，攪拌を繰り返した場合よりも出芽総数が多くなったが，3 年後の残存種子数はどちらもわずかであったと報告しているが，本研究の結果はこれらの報告と一致している。

乾燥貯蔵した種子を用いた発芽試験において，メヒシバの種子は明らかな光発芽性を示し，変温幅が大きい場合に発芽が促進された（図 15）。これらは既報（露崎ら 1984，露崎・中川 1987）と一致する結果であった。さらに，赤色光と近赤外光の照射実験から，この光発芽性にはフィトクロムが光受容色素として関与していることが明らかにされた。また，25℃以下で湿潤条件に 10 日間置くことで，種子の休眠覚醒が進むことが明らかになった。多くの夏雑草の種子は低温湿潤条件で休眠覚醒が進行することが明らかにされており（伊藤 1993），メヒシバの種子も同様であることが確認された。一方，30℃以上の高温で湿潤条件を与えても種子の休眠の覚醒は進むが，このとき，光の照射があると暗条件下に置かれた場合と比較して覚醒速度が鈍化する傾向がみられた。明条件で与えた光の R/FR 比は十分に高いことから ( $1.2 < R/FR$ )，この阻害作用にはフィトクロム以外の光受容色素が関与している可能性もあるが，本実験の範囲ではそれを明らかにすることはできなかった。

一般に，雑草種子が示す光発芽性は，埋土によるシードバンクの形成に貢献していると考えられている（Wesson and Wareing 1967, 1969）。しかし，埋土されなくても，光発芽性があるのなら，地表の

微細な環境,あるいは作物や他の雑草個体の被蔭によって発芽が抑制されることは十分考えられる。特に,メヒシバの種子の光発芽性にはフィトクロムが関与していることから,暗条件ではなくても,作物草冠の緑蔭効果でR/FR比が低下すれば,発芽が阻害される可能性がある。実際,地表に置かれたメヒシバの種子は,発生盛期に温度の日較差の縮小とR/FR比の低下が同時に生じれば発芽率が暗条件と同程度にまで低下することが明らかになった(図17)。このことから,メヒシバの発生盛期において,オオムギなどのカバークロップの緑蔭下では温度の日較差の縮小とR/FR比の低下によって発芽が抑制されることが示唆された。なお,メヒシバの種子は,不耕起栽培で種子が地表付近にとどまったとしても,わずかながら次の自然散布が生じるまで種子は残存した。その要因の一つとして,メヒシバ種子の示す光発芽性が考えられ,特に夏以降それが強化されること(図14)の影響が大きいと推測された。

#### 4. 摘 要

ダイズの不耕起および耕起栽培畑におけるメヒシバのシードバンクの深度分布および季節消長を,自然散布が行われる圃場での調査および採種後,圃場の地表および土中に置かれた種子の変化を調査することにより明らかにした。

メヒシバのシードバンクは不耕起栽培では地表付近に集中し,種子数も夏季には著しく減少した。地表への集中分布は最終耕起後1年未満ですでに観察された。

耕起栽培では,耕起によって種子が土壌の深い層まで分布するが,種子数は不耕起栽培と同様に,夏季に著しく減少した。

これらの事象は,メヒシバ種子の圃場での寿命が短く,次の生産・自然散布の時期まで残存する種子がわずかであることによる。

発芽試験により,メヒシバの種子は光発芽性を有し,変温幅が大きい場合に発芽が促進されることが確認された。また,この光発芽性にはフィトクロムが光受容色素として関与していることが判明した。

地表に置かれたメヒシバの種子は,発生盛期に温度の日較差の縮小とR/FR比の低下が同時に生じれば発芽率が暗条件と同程度にまで低下することが明らかになった。このことから,草冠の緑蔭効果によって発芽が抑制されることが示唆された。

圃場においては,メヒシバの種子は通年にわたり

光発芽性を示し,特に夏季から秋季にかけては暗条件ではほとんど発芽がみられなかった。こうした光発芽性は,土中のみならず地表に置かれた場合でも同様に認められたことから,不耕起栽培においても次の種子生産・自然散布まで生存種子が持ち越される原因の一つとして,緑蔭効果が考えられる。

### カバークロップ条件下における雑草植生の特徴と雑草抑制効果

#### -1 雑草植生の変遷と主要一年生雑草の発消長

第Ⅲ章において,夏畑作物の不耕起栽培では一年生夏雑草,特にイネ科雑草が優占する傾向があることが示された。しかし,イネ科雑草が優占する原因については明らかになっておらず,合理的な防除法を開発するためにはそれを解明することが必要である。

イネ科雑草の不耕起栽培下での生態については,第Ⅳ章において,不耕起栽培ではシードバンクは地表付近に集中し,出芽深度が浅くなることを明らかにした。この事実は,種子が土中に薄く散在する耕起栽培よりも,不耕起栽培の方が埋土種子の管理が容易である可能性を示すものである。また,地表付近からの出芽については,地表面に到達する光量を減少させたり,土壌温度の日較差を縮小させることで効率的に抑制し得ると考えられる。

第Ⅰ章で述べたように,北アメリカを中心に実施されてきた研究から,ある種のカバークロップには雑草を抑制する効果があることが明らかになっている(Teasdale 1998, Hartwig and Ammon 2002)。多くの研究では,カバークロップの雑草抑制効果とその残さによる土壌表面の被覆に起因した雑草の個体密度の低減によっていると結論づけている(Crutchfield *et al.* 1985, Mohler and Teasdale 1993)。しかし,ある時点における雑草の個体密度は,出芽数のみならず出芽後の定着率,すなわち実生の生存率にも影響される。雑草の個体密度が低減する理由がそのどちらであるかについては明らかになっていない。

本節では,ダイズの不耕起栽培において,一年生夏雑草,特にイネ科雑草が優占するのは出芽数が増加するためであり,冬作カバークロップが抑草効果を有するのは,その出芽を抑制するためである,という仮説を設定した。その検証のため,圃場試験を3年間連続して実施し,耕起およびカバークロップ

が雑草植生の変遷および一年生夏雑草の出芽に及ぼす影響を調べた。

なお、カバークロープとしては冬作オオムギを採用した。その理由は、第一に予備試験から、オオムギの茎葉はライムギなどこれまでカバークロープとしてしばしば利用されてきた作物に比べて軟弱で、その刈り敷き直後であっても不耕起播種機を用いたダイズの播種が容易であることが分かったからである。第二には試験を実施した東北農業研究センター畑地利用部（福島市）の位置する福島県では、かつてオオムギダイズの1年2作体系が行われ、作付体系として受け入れられやすいと考えたためである。

1. 材料および方法

1) 処理区の設定

東北農業研究センター畑地利用部（福島市）の黒ボク土壌の畑圃場にて3年間の試験を実施した。試験開始に先立つ2000年の夏作にプラウ耕および2回のロータリー耕を行った後、ダイズを均一栽培して圃場を準備した。実験計画は3反復の乱塊法であり、次の6処理を設けた。すなわち、不耕起ダイズ

単作の除草剤散布区 (N1+) および無除草剤区 (N1-), 不耕起オオムギダイズ1年2作の除草剤散布区 (N2+) および無除草剤区 (N2-) ならびに耕起ダイズ単作の除草剤散布区 (T1+) および無除草剤区 (T1-) である。表9に処理区の栽培管理方法の概要を示した。除草剤は、2003年にN1+においてグリホサートをダイズの播種1か月前に散布した以外は、作物の播種直後に散布した。

1区の面積は88㎡ (8m × 11m) である。冬作オオムギ (品種: べんけいむぎ) は10g/m<sup>2</sup>の種子を条間32.5cmで不耕起播種した。オオムギには基肥としてN, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>およびK<sub>2</sub>Oをそれぞれ6g/m<sup>2</sup> (くみあい複合硝磷加安S444), 播種と同時に施肥した。オオムギはダイズの播種前日にハンマーナイフモア (共栄社製HMA80) にて刈り取り, 粉碎してその場に敷いた。ダイズ (品種: 2001年, 2002年についてはスズユタカ, 2003年についてはふくいぶき) は種子5g/m<sup>2</sup>を畦間65cmで条播した。ダイズには基肥としてN, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>およびK<sub>2</sub>Oをそれぞれ2.5g/m<sup>2</sup>, 10g/m<sup>2</sup>および10g/m<sup>2</sup> (くみあい化成高度500) を播種と同時に施肥した。N2+を除く

表9 処理区の概要

処理区	年次	秋耕	前冬作オオムギ		ダイズ				
			播種日	除草剤 <sup>1)</sup>	播種前耕起	播種日	除草剤 <sup>1)</sup>	中耕	刈取除草
不耕起ダイズ単作除草剤区 (N1+)	2001	-			-	5月28日	T+G	-	1回
	2002	-			-	5月29日	AL+G	-	1回
	2003	-			-	5月29日	G <sup>2)</sup> , T+G	-	1回
不耕起ダイズ単作無除草剤区 (N1-)	2001	-			-	5月28日	-	-	2回
	2002	-			-	5月29日	-	-	3回
	2003	-			-	5月29日	-	-	2回
不耕起オオムギダイズ除草剤区 (N2+)	2001	-	10月24日	-	-	5月28日	T	-	-
	2002	-	10月23日	Pr+G	-	5月29日	AL	-	-
	2003	-	10月25日	Pe+G	-	5月29日	T	-	-
不耕起オオムギダイズ無除草剤区 (N2-)	2001	-	10月24日	-	-	5月28日	-	-	1回
	2002	-	10月23日	-	-	5月29日	-	-	1回
	2003	-	10月25日	-	-	5月29日	-	-	1回
耕起ダイズ単作除草剤区 (T1+)	2001	+			+	5月28日	T	1回	-
	2002	+			+	5月29日	AL	1回	-
	2003	+			+	5月29日	T	1回	-
耕起ダイズ単作無除草剤区 (T1-)	2001	+			+	5月28日	-	1回	-
	2002	+			+	5月29日	-	3回	-
	2003	+			+	5月29日	-	2回	-

注. 除草剤の略号の意味は次の通りである。AL=アラクロール0.13g ai m<sup>-2</sup> (43%乳剤) とリニュロン0.05g ai m<sup>-2</sup> (50%水和剤) の混用, G=グリホサートアンモニウム塩0.16g ai m<sup>-2</sup> (41%液剤), Pe=ペンディメタリン0.12g ai m<sup>-2</sup> (30%乳剤), Pr=プロメトリン0.1g ai m<sup>-2</sup> (50%水和剤), T=トリフルラリン0.13g ai m<sup>-2</sup> (44.5%乳剤)。播種約1か月前にグリホサート0.2g ai m<sup>-2</sup> (41%液剤) を散布した。

不耕起区 (N1+, N1-, N2-) については、6月から7月の間に、刈り幅50 cmの小型ロータリーモア (オーレック製 SP50) にて条間の除草を行った。T1+ および T1- については6月から7月の間に中耕除草を行った。N1+, N2+ および T1+ の地表から0.5 cmの深さの地温を自記式温度計 (Espec 製 Thermo Recorder RT-11) によって冬季を除き連続測定した。

## 2) 雑草植生

作物および雑草の被度および草高をオオムギを刈り敷く直前の5月末および8月末に測定した。調査時期は第Ⅲ章で明らかにしたように、冬作および夏作の典型的な雑草植生となり、かつ乗算優占度が最大となることから決定した。調査は1区あたり3枠ずつ設置した0.65 m<sup>2</sup> (1 m × 0.65 m) の方形枠内について実施し、3つの方形枠の平均値をその区の値とした。

## 3) 一年生夏雑草の発生

調査は1区あたり3枠ずつ設置した0.195 m<sup>2</sup> (0.30 m × 0.65 m) の方形枠内について毎年3月に実施した。4月上旬から8月上旬まで、雑草の全発生個体を概ね10日ごとに土壌を攪乱しないように抜き取り、一年生夏雑草の個体数を記録した。調査対象種は、メヒシバ、イヌビエ、アキノエノコログサ、シロザ、ヒユ類 (イヌビユおよびホソアオゲイトウ) およびタデ類 (イヌタデおよびオオイヌタデ) である。3つの方形枠の平均値をその区の値とした。

## 4) オオムギの生長量およびダイズ収量

オオムギについては、毎年12月に処理区の中央付近の2 m、2条分について出芽密度を測定するとともに、刈り敷き直前の5月末に1区あたり2カ所から2 m × 2条を地際から刈り取り、その風乾重を測定した。ダイズについては、10月末の収穫時に1区あたり2 m × 2条分を2カ所から刈り取り、子実収量を調査した。

## 5) データの解析

雑草の空間占有体積の指標として、第Ⅱ章で述べた乗算優占度 (MDR) を種ごとに算出した。

雑草乗算優占度、出芽数、オオムギの個体密度および乾物重ならびにダイズの子実収量について、反復測定型の多変量分散分析 (MANOVA) を行い、ついで年次ごとに分散分析 (ANOVA) を行った。乗算優占度および出芽数については対数変換値について分析を行った。ANOVAにおいて有意性が認め

られた場合には、Tukey の HSD 検定にて5%水準で処理区間の対比較を行った。これらの統計処理には JMP version 5 (SAS Institute, Inc. 2002) を用いた。

## 2. 結 果

### 1) 環境条件とオオムギの生育量およびダイズ収量

2001年および2002年はダイズの生育期間を通して気温は平年並みで推移したが、2003年は冷夏であり、地温も低く経過した。日平均地温は、N1+区、N2+区およびT1+区の間で大きな違いがなかったが、オオムギの生育期間、特に4月以降についてはN2+区で若干低く推移した (図18)。N2+区では、4月から7月にかけて、他の区よりも明らかに日最高地温は低く、最低地温は高く推移した。オオムギの個体密度は多変量分散分析において、年次および処理区間で有意差が認められず、いずれの年次も350個体 m<sup>2</sup>程度であった。また、カバークロップとして用いたオオムギの風乾重についても有意差はなく、平均で877 g m<sup>2</sup>であった。

ダイズは4つの不耕起区において旺盛な初期生育を示した。図19は3年間のダイズの収量を示したものである。ダイズの収量は、多変量分散分析において年次、処理および年次と処理の交互作用のいずれも有意となった ( $p < 0.001$ )。2001年はオオムギ-ダイズ区 (N2+, N2-) で収量が高かった。無除草剤区 (N1-, N2-, T1-) では、雑草害の

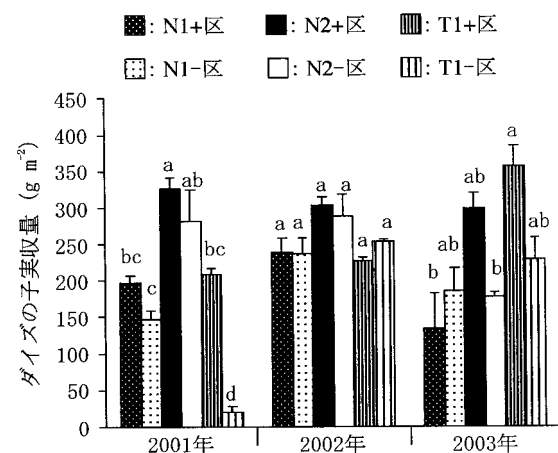


図19 各処理区におけるダイズの子実収量

誤差線は3反復の標準誤差である。同一年次内で同一アルファベットは Tukey の HSD 検定において5%水準で有意差がないことを示す。

表 10 春季（5月）および夏季（8月）における雑草の乗算優占度（MDR）

年次	処理	MDR <sup>1)</sup> (×0.01m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> )					
		5月			8月		
		多年生雑草	一年生雑草 <sup>2)</sup>		多年生雑草	一年生雑草 <sup>2)</sup>	
イネ科	広葉		イネ科	広葉			
2001	N1+	0.0	0.0	2.8 a	0.0	7.0 abc	11.8 b
	N1-	0.0	0.0	3.1 ab	0.0	40.5 ab	11.9 b
	N2+	0.0	0.0	0.0 c	0.1	0.7 c	1.4 c
	N2-	0.0	0.0	0.3 c	0.0	4.4 abc	0.7 c
	T1+	0.0	0.0	0.1 bc	0.2	9.3 bc	35.2 ab
	T1-	0.0	0.0	0.2 abc	0.0	50.3 a	85.1 a
2002	N1+	4.8 a	0.0	29.2 ab	2.0 a	30.3 a	7.8 a
	N1-	3.3 a	0.1	34.9 a	1.2 ab	73.5 a	8.3 a
	N2+	0.2 b	0.0	0.4 c	0.7 ab	3.0 b	1.4 bc
	N2-	0.7 b	0.0	13.2 b	1.4 ab	13.8 b	0.3 c
	T1+	0.1 b	0.0	0.1 c	0.0 b	2.8 b	1.9 bc
	T1-	0.0 b	0.0	0.3 c	0.0 b	11.1 ab	6.3 ab
2003	N1+	0.1 b	0.2	0.0 b	0.1 b	40.5 a	11.1
	N1-	32.5 a	0.3	10.9 a	1.3 a	33.1 a	11.6
	N2+	2.7 b	0.0	1.0 cd	0.3 ab	1.9 b	9.9
	N2-	13.2 a	0.0	5.7 ab	0.2 ab	18.6 ab	12.2
	T1+	0.0 b	0.0	1.2 cd	0.0 b	3.1 b	33.1
	T1-	0.0 b	0.1	2.4 bc	0.0 b	17.2 ab	47.0

注. 1) 表中の数値は平均値±標準誤差 (n = 3) である。同一年次同一列内で、同一アルファベットを付した平均値間には有意差がない (P<0.05)。  
 2) 二年生雑草を含む。

影響により収量が低い傾向が見られた。悪天候で、中耕を1回しか行えなかったT1-区では、特に収量が低かった。有意差は認められなかったものの、オオムギ-ダイズ区において収量が高い傾向は2002年も継続した。

不耕起区 (N1+, N1-, N2+, N2-) では、2002年の8月末の台風の影響で倒伏が著しかったが、収量への大きな影響は認められなかった。2003年には、開花期に当たる8月上旬の台風による倒伏で不耕起区のダイズは著しい被害を被ったが、耕起区ではダイズの生育が遅く、植物体が小さかったため、台風の影響はわずかであった。このように2003年は台風の影響によりダイズの収量に対する処理の影響がそれまでの2年間と異なった。すなわち、前年までと同様 300 g m<sup>2</sup> 程度の収量を確保したN2+区をのぞき不耕起区では低収となった。N2+区で台風の影響が小さかったのは、他の3つの不耕起区と比較して雑草量が少なかったため主茎の徒長がなく、また、風によって倒れた雑草がダイズの倒伏を助長することがなかったためである。

2) 春季および夏季における雑草植生

表10は5月末および8月末における雑草の乗算優占度を示したものである。多変量分散分析の結果、多年生雑草および広葉雑草については、5月、8月ともに、年次、処理および年次と処理の交互作用のいずれも有意 (p<0.01) であった。またイネ科雑草については、8月の処理 (p<0.001) および年次と処理の交互作用 (p<0.05) が有意となった。

多年生雑草は2001年には5月、8月ともにほとんど観察されなかったが、2002年には不耕起区で次第に増加する傾向が認められた。実験期間を通じて最も多く見られた多年生雑草はハルジオンであり、2003年には不耕起区、特にN1-区およびN2-区で乗算優占度が増加した。2003年、N1+では多年生雑草の乗算優占度が小さかったが、これは春先の雑草量が極めて多く、このままではダイズの播種が困難と考えられたため、播種1か月前にあたる4月28日に非選択性の茎葉処理型除草剤 (グリホサートアンモニウム塩 0.2 g a.i. m<sup>2</sup> (41%液剤)) を散布したことによる。多年生雑草の乗算優占度は



除草剤，条間の機械除草およびダイズの被蔭により8月の調査では大きく減少していた。

2001年の5月には数種の一年生および二年生雑草が観察され，N1-区で最大の乗算優占度を示した(表10)。優占種はナズナであった。2002年の5月には，一年生および二年生の乗算優占度は不耕起単作区(N1+, N1-)で顕著に増加した。優占種はナズナであり，次優占種はオニタビラコであった。2003年の5月には，N1+区を除く不耕起区でオニタビラコの乗算優占度が特に高かった。実験期間を通じて，5月はイネ科の乗算優占度は小さかった。

実験期間を通じて，全ての試験区で乗算優占度は8月には5月よりも大きな値を示した。不耕起区では，2001年のN1+区，N2+区，2003年のN2+区を除き，イネ科雑草の乗算優占度は広葉雑草のそれよりも大きかった。不耕起区での優占種はメヒシバであり，次優占種はイヌビエであった。シロザ，ホソアオゲイトウなどの広葉雑草も見られたが，その乗算優占度は耕起区のそれよりも小さかった。イヌタデは，耕起区よりも不耕起区で多く見られる唯一の広葉雑草であった。耕起区では広葉雑草はイネ科雑草よりも常に大きな乗算優占度を示し，特にシロ

ザ，オオイヌタデ，ホソアオゲイトウが多く見られた。イネ科雑草のなかではイヌビエ，アキノエノコログサおよびヌカキビが耕起区で比較的多く見られた。

いずれの年次も，オオムギ-ダイズ区における一年生夏雑草の乗算優占度は不耕起単作区よりも明らかに小さかった。後述するように，不耕起単作区では相対的にイネ科雑草が多く見られたので，冬作オオムギは主としてイネ科雑草を抑制しているものと考えられた。オオムギ-ダイズ区，特にN2-区では一年生夏雑草の乗算優占度は年次とともに増加する傾向が見られた。

### 3) 一年生夏雑草の出芽

図20および表11はそれぞれ3年間の出芽の季節消長およびシーズン中の総出芽数を示したものである。総出芽数についての多変量分散分析の結果，メヒシバ，アキノエノコログサおよびヒユ類については年次，処理および年次と処理の交互作用で有意( $p<0.01$ )，イヌビエおよびシロザについては処理および年次と処理の交互作用で有意( $p<0.05$ )となったが，タデ類については有意性が認められなかった。

除草剤散布はメヒシバの出芽を常に抑制した。メ

表11 イネ科雑草および広葉雑草の年次別の出芽総数

年次	処理	出芽総数 <sup>1)</sup> (m <sup>-2</sup> )					
		イネ科雑草			広葉雑草		
		メヒシバ	イヌビエ <sup>2)</sup>	アキノエノコログサ <sup>2)</sup>	シロザ	ヒユ類	タデ類
2001	N1+	664 ab	492		543	882	192
	N1-	1295 a	249		946	1011	25
	N2+	166 ab	55		41	95	16
	N2-	441 b	63		769	519	22
	T1+	336 ab	227		186	512	8
	T1-	443 ab	842		228	1104	30
2002	N1+	165 bc	274	0 b	124 ab	370 ab	17
	N1-	1503 a	311	4 b	442 ab	259 ab	6
	N2+	31 c	56	3 b	105 b	14 c	24
	N2-	82 bc	38	0 b	201 ab	43 bc	1
	T1+	64 bc	101	26 a	971 ab	666 a	26
	T1-	607 ab	516	89 a	1440 a	1263 a	126
2003	N1+	539 ab	393 a	7	483 ab	194	25
	N1-	1437 a	415 a	30	869 ab	168	18
	N2+	228 bc	72 ab	9	148 b	26	131
	N2-	935 ab	108 ab	3	174 b	60	5
	T1+	36 d	25 b	7	455 ab	74	11
	T1-	112 cb	173 ab	63	1259 a	193	100

注. 1) 数値は平均値±標準誤差 (n = 3) である。同一年次の同一列内で，同一アルファベットを付した平均値間には有意差がない ( $P<0.05$ )。

2) 2001年については，イヌビエとアキノエノコログサを区別しなかった。

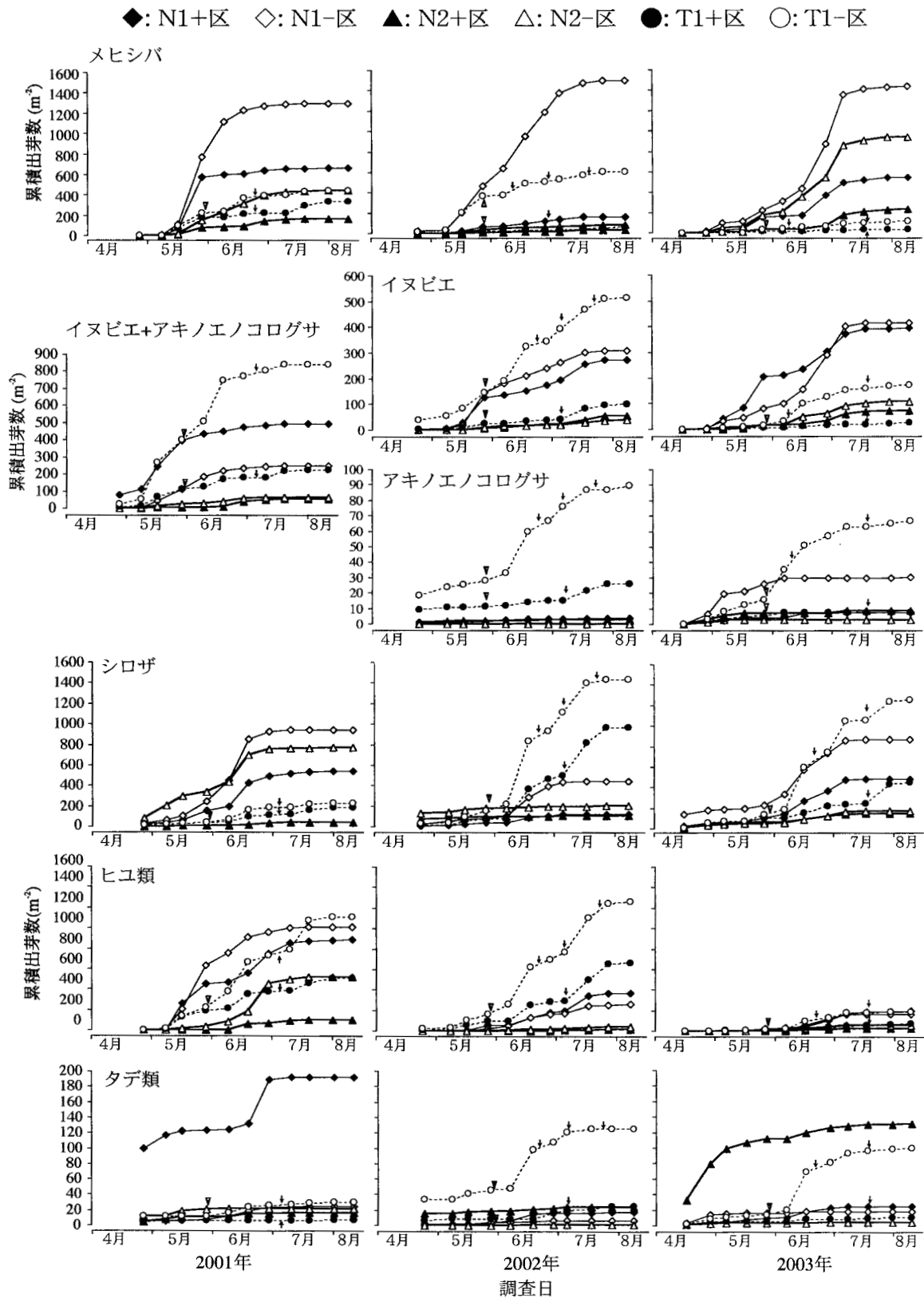


図 20 優占したイネ科雑草および広葉雑草の年次別の累積出芽数

▼および↓はそれぞれ播種前の耕耘時期および中耕時期を示す。

ヒシバの出芽は4つの単作区の中では耕起区よりも不耕起区で多かったが、オオムギ・ダイズ区では不耕起単作区よりも少なかった。冷夏となった2003年にはメヒシバの出芽は全ての区で遅延したが、オオムギ・ダイズ区ではそれまでの2年次と比較して出芽数が増加した。

イヌビエの出芽数についても、4つの単作区の中では2002年のT1-区を除き、耕起区よりも不耕起区で多かったが、オオムギ・ダイズ区では不耕起単作区よりも少なかった。

アキノエノコログサの出芽数は2002年には耕起区で多かったが、2003年には不耕起区で増加した。アキノエノコログサの出芽数はオオムギ・ダイズ区では他の区よりも常に少なかった。

除草剤散布区ではシロザとメヒシバの出芽が少なかった。また、これらの出芽は2001年のN2-区を除き、オオムギ・ダイズ区でも少なかった。なお、2001年にはシロザは不耕起区で多く出芽したが、2002年には、N2+区を除き出芽数が減少した。しかし、2003年には再び不耕起区での出芽が増加した。これはダイズの播種時に播種機に不具合が生じ、

土壌に攪乱が加えられたため、ダイズの条付近の出芽はこの部分に集中していた。なお、2002年および2003年は、耕起区におけるシロザの出芽が著しく多かった。

試験区で出芽が見られたヒユ類はホソアオゲイトウおよびイヌビエであったが、後者は前者に比べ稀であった。ヒユ類は2002年まで、耕起区で非常に多く出芽が見られたが、2003年には不耕起単作区と耕起区で出芽数が急激に減少した。オオムギ・ダイズ区では2001年のN2-区を除き、ヒユ類の出芽が顕著に抑制された。試験区で出芽がみられたタデ類はオオイヌタデおよびイヌタデであったが、前者は耕起区で、後者は2001年のN1+区を除き、不耕起区で多く見られた。2002年以降、オオイヌタデはT1-区で多く出芽したが、2003年にはイヌタデがN2+区で多く出芽した。カバークロップの効果はタデ類に関しては明確でなかった。図21は8月末における上述した一年生夏雑草8種の総出芽数と乗算優占度の関係を示したものである。8種についての乗算優占度の和は、出現した全種についての乗算優占度の和の80%以上であった。イネ科雑

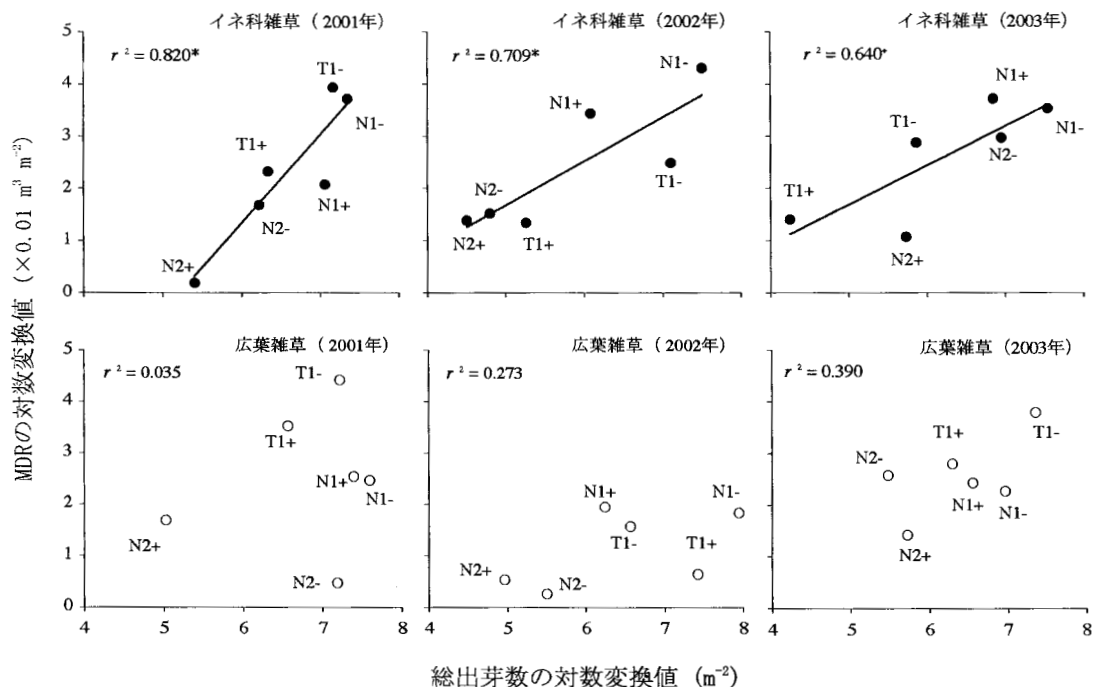


図21 イネ科雑草と広葉雑草の総出芽数と乗算優占度 (MDR) の関係

図中の記号は処理区である。

イネ科雑草 (●) は、メヒシバ、イヌビエ、アキノエノコログサの和であり、広葉雑草 (○) は、シロザ、ヒユ類、タデ類の和である。

\*および+は相関がそれぞれ5%および10%水準で有意であることを示す。

草については、毎年、乗算優占度は総出芽数と相関が認められたが、広葉雑草については相関が有意でなかった。2001年および2002年に不耕起区ではシロザとヒユ類の実生が早期に枯死する例が多く認められた。広葉雑草の発消長は、中耕を含む耕起直後の発生フラッシュのため断続的であった(図20)。

### 3. 考 察

乗算優占度の調査から、夏季の雑草植生は不耕起畑では耕起畑と同様、多くが一年生夏雑草からなり、特にイネ科雑草が広葉雑草よりも相対的に多いことが示された(表10)。この結果は、既往の報告と一致している(Froud-Williams *et al.* 1984)。一年生雑草の出芽数の調査結果から、夏季におけるイネ科の雑草量の増加は主として出芽数の増加によっていることが明らかになった(表11, 図20, 図21)。イネ科雑草のなかではメヒシバが不耕起畑で最も多く見られ、ついでイヌビエが多かった。アキノエノコログサは不耕起畑と耕起畑の両方に見られた。一方、シロザやホソアオゲイトウなどの広葉雑草は耕起畑で多く見られた。ただし、これらの種は不耕起畑であっても土壤が攪乱された場合には多くみられた。以上の結果は、これらの種が耕起による土壤攪乱によって増加することを示唆するものである。タデ類については不耕起畑と耕起畑で多くみられる種が異なり、イヌタデは不耕起畑で多く、オオイヌタデは耕起畑で多かった。

不耕起ダイズ栽培においては、冬作にオオムギを栽培し、茎葉を刈り敷くことで不耕起一年生夏雑草の現存量が著しく少なくなった。不耕起畑で優占する傾向のあるイネ科雑草は一年生夏雑草の中でも特に現存量が少なくなった(表10)。こうしたイネ科雑草の抑制は、出芽数の減少によっていることが示唆された(表11, 図21)。出芽数が減少する原因としては、不耕起条件の地表ではオオムギ茎葉の被覆により土壤温度の変温幅が顕著に小さくなること(図18)や光量が減少することのほか、オオムギの茎葉は刈り敷き時にはまだ緑色を残しており、低いF/FR比が持続することが考えられる。冬作カバークロップの残さについては、その量に応じて夏作における雑草の個体密度に影響を与えることが報告されている(Facelli and Pickett 1991, Teasdale 1998)。これらの報告から、本研究におけるオオムギの残さの量は、雑草の個体密度を抑制するのに十分であったと考えられる。また、不耕起ダイズ単作

区では、オオムギの刈り敷き前にすでに相当量の雑草が出芽していたことから、ダイズの播種直前までオオムギが生育していたことも雑草の出芽が抑制された原因のひとつと考えられた。

冬作にオオムギを栽培し茎葉を刈り敷いた場合は、広葉雑草の出芽も抑制されたが、出芽数と夏季における乗算優占度には相関が認められず、出芽の抑制が雑草量の抑制に結びついていると結論することはできなかった。本研究の範囲ではその原因を明らかにすることはできなかったが、シロザ、ヒユ類などの広葉雑草の実生の死亡率は全般的に高く、出芽数と夏季の雑草量の関係が低いことによる可能性が考えられる。一方、冬作オオムギはダイズの出芽および生長を抑制しなかった。

オオムギーダイズ体系により、最初の2年間、ダイズで高い収量を得ることができた。全般的に、夏季の雑草量が少ない場合には、雑草との競争の回避によってダイズの収量が高くなったものと考えられた(図19, 表10)。なお、2003年には例外的に不耕起畑でダイズが低収となったが、これは台風によるダイズの甚だしい倒伏とそれに伴う被蔭の減少により雑草の実生の生存率が上昇したことによると考えられた。

### 4. 摘 要

ダイズの不耕起栽培において、一年生夏雑草、特にイネ科雑草が優占するのは出芽数が増加するためであり、冬作カバークロップが抑草効果を有するのはその出芽を抑制するためである、という仮説を検証するため、不耕起単作区、不耕起オオムギーダイズ区および耕起単作区において、雑草の乗算優占度と一年生夏雑草の出芽数を3年間にわたって調査した。

乗算優占度については、春季には不耕起区において多年生雑草が年々増加したが、夏季には不耕起区を含む全ての区で、試験期間を通じて一年生夏雑草の割合が最も高かった。一年生夏雑草のなかでは、不耕起区ではイネ科雑草の割合が、耕起区では広葉雑草の割合が高かった。

不耕起オオムギーダイズ区と不耕起単作区を比較すると、前者では一年生夏雑草、特にイネ科雑草の乗算優占度が著しく小さかった。一年生夏雑草の出芽数については、メヒシバとイヌビエはほとんど例外なく耕起区よりも不耕起単作区で多かった。一方、広葉雑草は不耕起区よりも耕起区で多かった。

不耕起オオムギ・ダイズ区と不耕起単作区を比較すると、前者で出芽が少なく、それは特に最初の2年間に顕著であった。夏季のイネ科雑草の乗算優占度と出芽数には高い相関が認められた。

以上から、夏季における不耕起区でのイネ科雑草の雑草量の増加は主として出芽個体数の増加によること、および冬作オオムギによる抑草は、主として一年生夏雑草、特にイネ科の出芽抑制によることが明らかになった。

ダイズの収量は最初の2年間、不耕起オオムギ・ダイズ区で高い傾向がみられた。

## 2 カバークロップによる地表面被覆がメヒシバの出芽に及ぼす影響

前節までの研究で、ダイズの不耕起栽培で一年生夏雑草、特にメヒシバなどのイネ科雑草が優占するのは出芽数が増加するためであること、カバークロップとしての冬作オオムギの導入がその出芽を抑制して雑草の現存量を低減して雑草害を軽減し、ダイズの収量を確保できることなどを明らかにした。冬作カバークロップによる雑草抑制効果をより高めるためには、その抑制メカニズムに関わる優占雑草種の消長を明らかにする必要がある。

カバークロップの雑草抑制効果は、主として一定量以上の作物残さによる土壌表面の被覆を通じた雑草の個体密度の低減にあるとされているが (Teasdale 1998)、日本の南東北地域以南でダイズの不耕起栽培を行う場合には、通常、ダイズの播種期が多く的一年生夏雑草の発生始期と比較して遅いため、ダイズ播種以前に一年生夏雑草の大半が出芽している。したがって、冬作カバークロップによる一年生夏雑草の出芽抑制メカニズムを解明するためには、カバークロップ立毛中における発生に着目する必要がある。

第IV章で明らかにしたとおり、不耕起畑ではイネ科雑草の多くは地表付近から出芽するので、冬作オオムギの被蔭による土壌表面の環境条件の変化が出芽抑制の一つの要因であると推測される。そこで本節では、ダイズの不耕起栽培において、カバークロップとしての冬作オオムギとの1年2作体系およびダイズ単作でのメヒシバの発生と土壌表面の環境条件との対応関係をオオムギ立毛中に重点を置いて検討することで、カバークロップによる雑草の出芽抑制のメカニズムを解明する。

## 1. 材料および方法

### 1) 試験区の設定

試験は、東北農業研究センター畑地利用部(福島市)の黒ボク土の畑圃場(約5a)で行った。1999年の冬作にオオムギを不耕起栽培し、さらに2000年の夏作にダイズを不耕起栽培して圃場を準備し、2000年秋にオオムギ(品種:べんけいむぎ)を3つの異なる条間幅の不耕起栽培区(オオムギ・ダイズ区)および不耕起休閑区(ダイズ単作区)の4区を設けた。オオムギ・ダイズ区で設定したオオムギの条間は、20cm、40cmおよび60cmである。オオムギの条とダイズの畦はいずれも東西方向に設けた。実験計画は3ブロックの乱塊法で1区14m<sup>2</sup>とした。オオムギは10月31日に種子量で10g m<sup>-2</sup>をドリル播きし、登熟後期にあたる翌年6月4日にハンマーナイフモア(共栄社製HMA80)にて刈り取り、粉碎のうえ、その場に敷いた。なお、刈り敷きに先だって、オオムギの一部を刈り取り、地上部の風乾重を調査した。続いて6月5日に全ての区でダイズ(品種:スズユタカ)を同一条件で不耕起でドリル播きした。ダイズの畦は、オオムギの条と条間の中央付近に設けた。ダイズは種子量で5.5g m<sup>-2</sup>を畦間60cm、株間18cmで2粒播きした。施肥量はオオムギ、ダイズともに全量基肥で、窒素成分でそれぞれ6g m<sup>-2</sup>、3g m<sup>-2</sup>である。播種後、オオムギについてはプロメトリン0.1g a.i. m<sup>-2</sup>(50%水和剤)を、ダイズについてはグリホサートアンモニウム塩0.2g a.i. m<sup>-2</sup>(41%液剤)、アラクロール0.13g a.i. m<sup>-2</sup>(43%乳剤)、リニユロン0.05g a.i. m<sup>-2</sup>(50%水和剤)を散布した。ダイズはその後、無中耕、無培土で栽培した。

3月下旬から6月上旬のオオムギ刈り敷きまでの間、オオムギの草高を経時的に調べるとともに、土壌表面の温度を自記温度センサー(タバイエスペック製サーモレコーダーRT11)にて計測した。さらに、5月中~下旬の晴天時、正午頃に光量子センサー(小糸工業製IKS-27)および分光器(Ocean Optics製USB2000にコサインコレクタCC-3を装着)にてオオムギ群落内の土壌表面付近およびオオムギ群落直上の光量(近光合成有効放射)および分光特性を測定した。分光特性データから、次式(Smith 1994)によりR/FR比を算出した。

$$R/FR \text{ 比} = \frac{(655 \sim 665 \text{ nm の光量子束密度})}{(725 \sim 735 \text{ nm の光量子束密度)}$$

## 2) メヒシバ播種試験

同じく畑地利用部内のダイズの10年連続不耕起栽培畑、2年間連続不耕起栽培畑および耕起栽培畑でメヒシバの種子を集団採種し、2001年11月20日に、上述の試験区内にあらかじめ用意しておいた播種床に取り播きした。メヒシバには休眠・発芽性に関して種内に著しい変異が見られ、発消長も異なる可能性が考えられたため、由来の異なる複数系統の種子を用いた。メヒシバ種子は精選後、各試験区内の無作為に選んだオオムギの条に相当する場所(条付近)と2つの条の中央付近(条間)の土壤表面にそれぞれ100粒ずつ(ダイズ単作区については2か所に100粒ずつ)播種した。各々の播種床は断面積26cm<sup>2</sup>、長さ1.5cmの円筒型のプラスチックを埋込んだもので、筒内に充填する土は、埋土種子を死滅させるため事前に100℃で48時間の加熱を行っていた。翌春、メヒシバの出芽開始から終了まで概ね5日おきに、出芽した実生をていねいに取り除くと同時にその個体数を記録した。なお、オオムギ刈り敷き時には、播種床も残さず均一に被覆されるようにした。ダイズはこれらの播種床が条と条の中央付近に位置するように播種し、播種床には除草剤は散布しなかった。

## 3) 自然発生調査

ダイズ播種前・オオムギ刈り敷き前の5月21日に、各試験区内の中央付近に幅30cm、長さがオオムギの条間幅(ダイズ単作区ではその畦間)に等しい帯状の調査枠をオオムギ-ダイズ20cm区、40cm区、60cm区およびダイズ単作区についてそれぞれ6、3、2および2か所ずつ設け、長さ10cm(300cm<sup>2</sup>)ごとにメヒシバの出芽実生数を計測した。出芽実生数にはすでに枯死している実生も含め、その値を調査日までの総出芽数とした。

## 4) 統計処理

試験および調査に応じてモデルを選択して分散分析を行い(奥野1984, 奥野・芳賀1969)、有意差が認められた場合には、TukeyのHSD検定により5%水準で対比較を行った。オオムギ地上部の風乾重については、4水準3ブロックの乱塊法として分析した。

メヒシバの播種試験における出芽総数については、オオムギの条間(ダイズ単作区にあっては2か所)の平均値を当該処理区の値と考え、オオムギの有無ないし条間幅(20cm区、40cm区、60cm区、ダ

イズ単作区)を一次因子、メヒシバ種子の系統(3系統)を二次因子とする3ブロックの分割区法として分析した。つづいて、ダイズ単作区を除き、オオムギの条間幅(20cm区、40cm区、60cm区)を一次因子、メヒシバ種子の系統、処理区内の位置(条付近、条間)の位置を二次因子とする3ブロックの分割区法として分析した。

自然発生個体数については、まず同一処理区内の複数の調査枠における全てのデータの平均値を当該処理区の値とし、4水準3ブロックの乱塊法として分析した。つづいて、試験区内の位置による効果を明らかにするため、ダイズ単作区および20cm区を除き、オオムギの条間幅(40cm区、60cm区)を一次因子、調査枠内の位置(株元の南側、条間、株元の北側)を二次因子とする3ブロックの分割区法と考え、分析を行った。その際、条間については、40cm区では調査枠の中央20cm分を、60cm区では同40cm分をプールした。

以上の統計処理上の計算は、JMP-5J(SAS Institute Inc. 2002)により行った。

## 2. 結 果

### 1) 試験区の植生と地表の環境

オオムギの生育の進行とともに地表の被蔭の程度は強くなり、4月下旬頃に最大に達したが(図22)、その後は大きな変化はなかった。オオムギの出穂期は各区とも4月23日頃で、それから概ね1か月後、メヒシバの発生盛期にあたる5月中下旬は、オオムギの登熟中期から後期にあたり、下葉から退色が始まりつつあった。このとき、オオムギ群落直上から

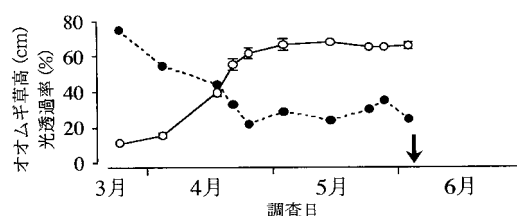


図22 オオムギ-ダイズ区(オオムギ条間20cm区)におけるオオムギの草高(○)およびオオムギ群落内への光の透過率(●)の推移

オオムギ草高に付した誤差線は標準誤差を示す(n=3)。光透過率は、群落直上に対する群落下の光合成有効放射の割合である。

矢印は、オオムギを刈り敷き、ダイズを播種した日を示す。

観察すると、条間の被覆は条間幅 20 cm区ではほぼ完全であったが、40 cm区、60 cm区ではなお不完全であった。地表では、立毛中のオオムギの被蔭によって光量が減少(被蔭の強い場所で正午頃、 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 程度)するとともに R/FR が低下していた(図 22)。また、日平均地温には処理区間でほとんど差がなかったが、オオムギの被蔭によって地温の日較差が縮小する傾向が認められた(図 23)。これらのオオムギの被蔭効果は 60 cm区など条間幅が広い場合には、条付近で顕著であった。

オオムギ地上部の刈り敷き時の風乾重の平均値および標準誤差 (n=3) は 20 cm区、40 cm区、60 cm区でそれぞれ  $790 \pm 160 \text{ g m}^{-2}$ 、 $759 \pm 148 \text{ g m}^{-2}$ 、 $718 \pm 161 \text{ g m}^{-2}$  であった。刈り敷き時の各区における優占雑草はメヒシバであり、他にシロザ、ハルタデなどの一年生夏雑草の実生が見られた。さらに、越冬したナズナやコハコベ、ヨモギが散見された。ヨモギなどの多年生雑草はどの区にも散発的に見られたが、一年生夏雑草は全般にオオムギ-ダイズ区で少なく、ダイズ単作区で多い傾向が見られた。

2) 前年秋に取り播きしたメヒシバの出芽

オオムギ-ダイズ区ではダイズ単作区と比較して

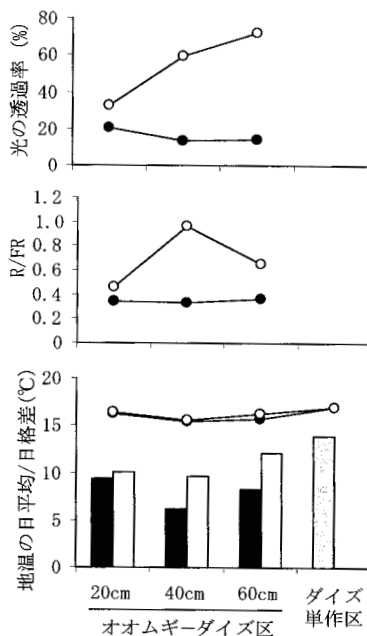


図 23 メヒシバの出芽盛期における土壌表面付近の環境条件

光の透過率の意味は図 22 と同じである。群落直上の光合成有効放射は  $1,800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  程度であった。地温のグラフの折れ線は日平均で、棒グラフは日格差である。オオムギ-ダイズ区において、●および■は条付近、○および□は条間を示す。ダイズ単作区については条付近と条間を区別していない。地温は 5 月 20 日～31 日の平均である。光の透過率、R/FR はそれぞれ 5 月 19 日、5 月 24 日の正午頃に測定した。

メヒシバの出芽が減少し、遅延する傾向がみられた(図 24, 図 25)。この傾向は、ダイズ単作区におけるメヒシバの出芽開始時(4月)にすでに現れていたが(図 24)、その時期はオオムギの生育が急速に進行し、被蔭の程度が強くなった時期に当たる(図 22)。一方、ダイズ播種以降のメヒシバの出芽数は

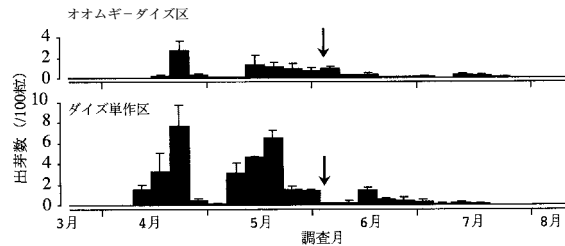


図 24 オオムギ-ダイズ区(条間 20 cm)とダイズ単作区におけるメヒシバの発生長

メヒシバの種子は前年の秋に取り播きした。出芽数はメヒシバ 3 系統と処理区内の位置(条付近、条間)を全てこみにした値で、誤差線は標準誤差 (n=3) を示す。メヒシバ種子は前年の 11 月に取り播きした。矢印は、オオムギを刈り敷き、ダイズを播種した日を示す。

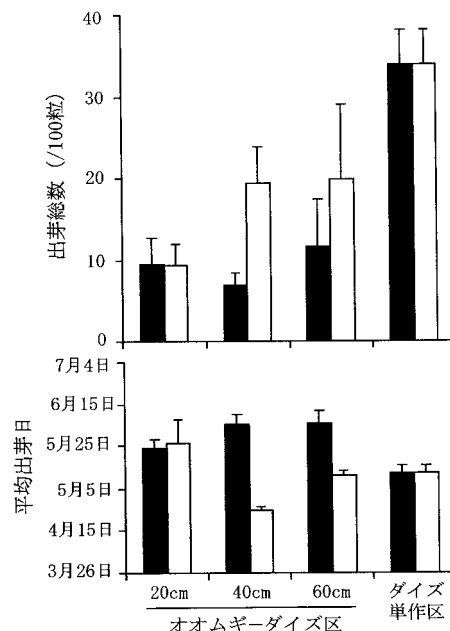


図 25 播種したメヒシバの出芽総数と平均出芽日

メヒシバの種子は前年の秋に取り播きした。■および□はそれぞれ条および条間のデータを示す。いずれもメヒシバ 3 系統をこみにした値で、誤差線は標準誤差 (n=3) を示す。

オオムギ-ダイズ区、ダイズ単作区ともに、出芽総数の10%から23%とわずかで、主にダイズ播種前の出芽数が総出芽数の違いに寄与することが分かった。出芽総数について、3つのオオムギ-ダイズ区ともにダイズ単作区と比較して有意に少なかった ( $p < 0.01$ )。

つづいて、オオムギの条間幅を一次因子、メヒシバ種子の系統、処理区内の位置(条付近、条間)を二次因子とする分析では、処理区内の位置が有意となった ( $p < 0.05$ )。具体的には、抑制程度は条付近で強く、条間では小さかった(図25)。すなわち、メヒシバの出芽抑制の顕著な場所はオオムギの被陰効果が大きい場所と一致した(図26)。

### 3) 自然散布されたメヒシバの出芽

ダイズ播種前のメヒシバの自然発生個体数について、3つのオオムギ-ダイズ区でダイズ単作区と比較してそれぞれ有意に少なかった(図26,  $p < 0.05$ )。またオオムギの条間幅を一次因子、調査枠内の位置(株元の南側、条間、株元の北側)を二次因子とした分散分析では、株元の北側が他の位置よりも有意に少なかった ( $p < 0.001$ )。条間幅は有意ではなかったが、F値は6.6と比較的大きく、実際には違いがあるが、一次因子であったため、有意性を検出できなかった可能性が考えられる。試験区内における自然発生個体数を詳しく見てみると(図26)、オオムギ-ダイズ区では出芽は条に接する北側の位置で少なく、条間で有意に多いという明瞭な傾向が認められた。また、60 cm区における自然発生個体数は、20 cm区、40 cm区よりも明らかに多かった。こうした傾向は、オオムギ立毛中の光透過率、すなわち被陰の傾向とよく一致した。ダイズ単作区では場所によるばらつきが大きく、明瞭な傾向は認められなかった。

### 3. 考 察

多くの雑草種子と同様に、メヒシバ種子は光発芽性を有しているが(萩森 1965)、露崎ら(1984)によれば、発芽促進に必要な光量は連続照射なら5 lux程度と極めて少ない。本研究で測定された光量は条付近、条間ともにこれをはるかに上回っており、発芽の誘発に十分であったと考えられる。しかし、第IV章で明らかにしたように、メヒシバの光発芽性にはフィトクロムが関与しており、必要な光量以上の照射を受けても、R/FR比が低い場合には同様に発芽が抑制されると考えられる。さらに、メヒシバ

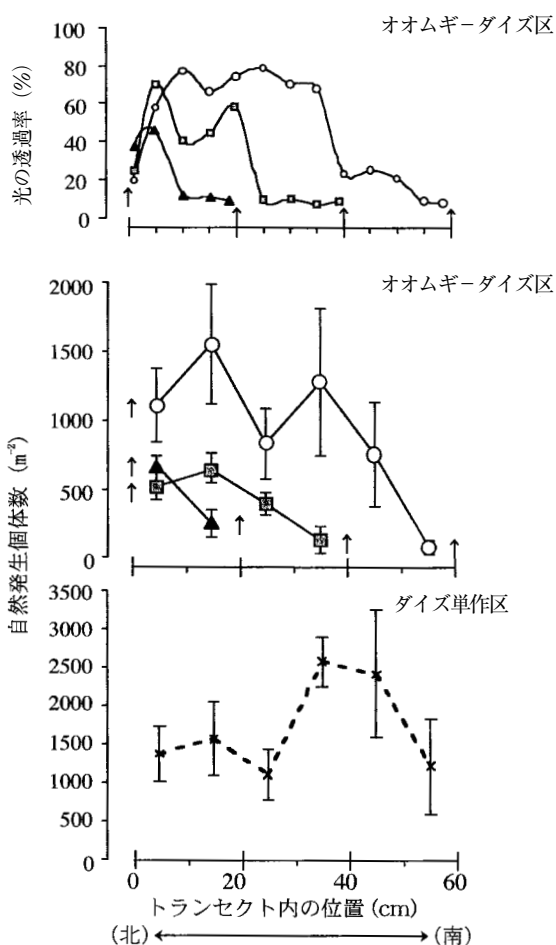


図26 処理区内の位置によるメヒシバの自然発生個体数と群落内への光透過率の相違

調査はオオムギの条と直角(南北方向)に設けた60 cmのトランセクトで行った。

自然発生個体数は、発生開始から5月21日までの累積数を示す。

▲, ■, ○はそれぞれ20 cm, 40 cm, 60 cm区を示す。自然発生個体数のグラフの各プロットは3反復の平均値と標準誤差である。矢印は、オオムギの条に相当する位置を示す。光の透過率の意味は図23と同じである。透過率の測定は5月14日に行った。

は、変温幅が大きい場合に発芽が促進されることがわかっている(露崎ら1984)。以上から、本試験でみられたメヒシバの出芽抑制は、主としてオオムギ立毛中の被陰による土壌表面の物理的環境条件の変化、特に光量、光質の変化と地温の日較差の縮小によっていることが示された。

これまでのカバークロープに関する研究から、カバークロープの残さ量と土壌表面の被陰程度との間には、種ごとに一定の関係があり、残さ量の増加とともに光量は指数関数的に減衰することがわか



っている (Facelli and Pickett 1991, Teasdale and Mohler 1993)。また、カバークロープの残さ量によって雑草の個体密度の抑制効果が異なることが、主要な雑草において明らかにされている (Teasdale 1998)。本研究では、カバークロープによる具体的な抑草メカニズムとして、メヒシバの出芽抑制について、カバークロープ刈り敷き前の立毛中の被蔭による土壌表面の温度や光環境の変化が重要な役割を果たしていることを初めて明らかにした。

また、自然散布された種子、取り播きした種子ともに、条間が狭い場合にメヒシバの出芽抑制が強くなる傾向が認められ、ダイズの不耕起栽培では、前作オオムギの条間を狭くした方がメヒシバの防除に有利であることが示された。今後、栽培技術、品種の選択などにより土壌表面の光量・光質や地温を最適化することで、カバークロープによるより効果的、安定的な雑草制御技術を確立できるものと考えられる。

なお、オオムギは雑草の発芽や生育を阻害するいわゆる抑圧作物 (伊藤 1993) として以前から知られており、阻害作用の一つとしてアレロパシーが報告されている (Overland 1966)。本実験で明らかになったオオムギによるメヒシバの出芽抑制は、上述のように地表の環境条件と出芽抑制程度の間に関連関係があったことから、主として被覆によってもたらされたことは疑いがない。しかし、冬作オオムギによる抑草にアレロパシーが関与している可能性は否定できず、アレロパシーによる阻害作用は、冬作オオムギによる抑草効果をより高めるために今後検討すべき課題の一つであると考えられる。

#### 4. 摘要

不耕起ダイズ作において、前作の冬作オオムギによる被蔭がメヒシバの出芽に及ぼす影響を明らかにするとともに、メヒシバの出芽と土壌表面の環境条件との関係を解明した。

冬作にオオムギを条間幅 20 cm, 40 cm, 60 cm で栽培して刈り敷いた区 (オオムギダイズ区) およびダイズ単作区を設け、前年の秋に播種したメヒシバの発生消長を調査するとともに、地表の光量、光質と温度を測定した。

オオムギ栽培の有無に関わらず、メヒシバの出芽の大半はダイズ播種以前にみられたが、出芽数はオオムギ栽培下で減少した。オオムギの条付近では、条間に比べて出芽抑制が著しく、また光量の減少、

R/FR 比の低下および地温の日較差の縮小が顕著にみられた。ダイズ播種前におけるメヒシバの自然発生個体数もオオムギダイズ区で少なく、特に被蔭程度が高いオオムギの条付近で少なかった。

以上から、前作としての冬作オオムギによるメヒシバの出芽抑制は、オオムギの被蔭を通じた土壌表面の光量、光質および地温の日較差の縮小の影響によることが示された。

#### 不耕起ダイズ栽培におけるカバークロープを活用した耕種的防除体系の検証

前章までの実験により、不耕起ダイズ栽培では一年生夏雑草が優占する傾向があること、カバークロープとして冬作オオムギを栽培し、ダイズの播種直前に刈り敷くことで、その発生を抑えダイズの雑草害を回避できることを明らかにした。さらに、その発生抑制は被蔭による地表の温度条件や光条件の変化によるので、被蔭を強化するためにはオオムギ条間を狭くするのが望ましいことが分かった。

序論で述べたとおり、ダイズの畦幅を普通畦の 1/2 程度にすることで、草冠が閉じる時期が 7 ~ 10 日程度は早くなり (野口ら 1993, 大段ら 2003)、必要除草期間も同程度短くなる (中谷・野口 1991, Knezevic *et al.* 2003)。しかし、前章までの試験では調査のために頻繁に圃場内に立ち入り、長時間の調査を行う必要から、ダイズの畦幅は 60 cm ないし 65 cm と広めにとった。また、第 IV 章で明らかにしたように、不耕起栽培で優占傾向にあるメヒシバ等のイネ科雑草の種子は、秋の耕起により、出芽が可能な浅層に分布する割合を減少させることができる。しかし、この試験では不耕起栽培と耕起栽培における雑草植生の相違を明確にしたかったため、不耕起栽培は冬作オオムギから開始した。

本章では、これまでに得られた知見をもとに抑草効果をさらに高め、播種時の非選択性の茎葉処理型除草剤および土壌処理型除草剤の散布量を減らすとともに、作業性を向上させることを目的として、冬作オオムギは耕起栽培とした。その上で、営農現場を意識した雑草防除体系策定の基礎とするため、冬作オオムギにダイズの狭畦栽培 (畦幅 30 cm) や土壌処理型除草剤の帯状処理、畦間の機械除草を組み合わせた場合の雑草量とダイズの収量を調べた。

#### 1. 材料および方法

東北農業研究センター畑地利用部 (福島市) の黒

表 12 各処理区における雑草管理の概要

番号	処理区名	カバークロップの有無	ダイズ	
			畦幅	除草方法
1	狭畦区	+	30cm	除草処理なし
2	狭畦・除草剤区	+	30cm	播種時にトリフルラリンを処理
3	機械除草区	+	60cm	除草剤散布なし 畦間の雑草を1回機械除草
4	除草剤帯状処理・機械除草区	+	60cm	播種時にトリフルラリンを帯状に処理、畦間の雑草を1回機械除草
5	狭畦・放任区	-	30cm	播種時に刈り取り除草のみ
6	対照区	-	30cm	播種時にグリホサートアンモニウム塩とトリフルラリンを処理

ボク土の畑圃場で2002-2003年および2003-2004年の2回、圃場試験を行った。2002-2003年の試験については2002年の夏作に、2003-2004年の試験については2003年の夏作にそれぞれダイズを慣行として行われている耕起栽培して圃場を準備した。試験では、前作となる冬作にオオムギ（品種：べんけいむぎ）をカバークロップとして栽培した、または冬季休閑した圃場でダイズ（品種：ふくいぶき）を不耕起栽培した。

圃場試験は、カバークロップ、狭畦、除草剤散布および刈り取り除草を組み合わせ、カバークロップを栽培する体系（カバークロップ体系）4処理およびカバークロップを栽培しない2処理の計6処理からなる（表12）。カバークロップ体系は、①狭畦栽培（畦間30cm）し、除草処理を行わない区（処理1：狭畦区）、②狭畦栽培し、トリフルラリン（44.5%乳剤）を通常量（0.13 g a.i. m<sup>2</sup>）散布する区（処理2：狭畦・除草剤区）、③通常の畦幅（60cm）で栽培し、ダイズの生育期に畦間の雑草を刈り取る区（処理3：機械除草区）、および④処理3に、畦部分へのトリフルラリン半量（0.06 g a.i. m<sup>2</sup>）の帯状処理を組み合わせた区（処理4：除草剤帯状処理・機械除草区）である。カバークロップを栽培しない体系は、⑤狭畦栽培し、ダイズの播種時に刈り取り除草を行う以外には除草処理を行わない区（処理5：狭畦・放任区）および⑥狭畦栽培し、播種時にグリホサートアンモニウム塩（41%液剤）0.2 g a.i. m<sup>2</sup>とトリフルラリン0.13 g a.i. m<sup>2</sup>を散布する区（処理6：対照区）である。著者らは、第V章で畦幅65cmで栽培したダイズで、播種時に非選択性の茎葉処理型除草剤と土壌処理型除草剤を散布する体系を提示したが、処理6は畦幅30cmの狭畦栽培にこの除草体系を適用したものである。

実験計画は年次を一次要因、処理を二次要因とす

る3ブロックの分割区法とした。各ブロックを2つのメインプロットに分割し、それぞれを2002-2003年および2003-2004年の試験に供した。両年とも、各メインプロットを6つのサブプロットに分割し、6区を無作為に配置した。サブプロットの面積は28.8 m<sup>2</sup>（3.6 m × 8 m）である。

カバークロップ体系の処理区では前年の秋、耕起直後にオオムギを播種したが、カバークロップを栽培しない体系の処理区についても同じ日に耕起を行った。オオムギの播種日は、2002年は10月30日、2003年は11月14日である。播種量は、2002年は種子重で10g m<sup>2</sup>、播種日の遅かった2003年はそれよりも若干多い12g m<sup>2</sup>とした。肥料は両年とも化成肥料によりN、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O=6、6、6 g m<sup>2</sup>を全量基肥として播種と同時に側条施肥した。オオムギの条間は30cmとした。いずれの区についても除草剤は散布しなかった。オオムギはダイズの播種直前にハンマーナイフモア（共栄社製HMA80）でその場に刈り敷いた。なお、刈り敷きに先だて、オオムギの一部を刈り取り、地上部の風乾重を調査した。ダイズの播種日は2003年が6月4日、2004年が6月1日、収穫日は2003年が10月29日、2004年が10月27日である。ダイズの播種量は種子重で5 g m<sup>2</sup>、畦幅は60cm（通常の畦幅）および30cm（狭畦）とした。肥料は化成肥料によりN、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O=3、12、12 g m<sup>2</sup>を全量基肥として土壌表面に施肥した。畦間の刈取除草は、2003年は7月23日、2004年は7月15日に、刈り幅50cmのロータリーモア（オーレック製SP50）を用いて行った。これは、水平方向に回転する複数の円盤状の刃で雑草の地上部を粉砕するものである。

ダイズの播種直前（2003年は6月3日、2004年は5月31日）および雑草量が概ね最大となった8月下旬（2003年は8月21日、2004年は8月25日）

に、コドラート法により雑草の被度および草高を調査した。方形枠は0.6m × 1 mで、1試験区当たり3枠ずつ設置した。種別に被度と草高を乗じることにより乗算優占度を算出し(第II章参照)、3つの方形枠の平均値を当該試験区の値とした。各試験区内で1.2 m<sup>2</sup> × 2か所のダイズの収量を調査し、収量調査の対象個体から無作為に選んだ10個体の生育量を調査した。雑草の乗算優占度およびダイズの収量、生育量についての統計処理はJMP-5J(SAS Institute Inc. 2002)によった。試験期間中の気象データは、東北農業研究センター畑地利用部(福島市)内に設置された気象観測装置により得た。

## 2. 結 果

冬作期の気温は、2002-2003年については平年と比べて晩秋から初冬にかけてやや低く推移したため(図27)、オオムギの生育は遅れ気味であった。2003-2004年については冬作期間を通じて平年と比べてやや高く推移した。冬作期の降水量は、2002-2003年についてはやや少なく、2003-2004年については平年並みであった。オオムギの刈り敷き時の地上部風乾重は各区平均で2003年が501g/m<sup>2</sup>、2004年が705g/m<sup>2</sup>であった。夏作期については、2003年は梅雨明けが遅れ、夏の気温が低く、降水量も多かった。一方、2004年は高温に推移し、降水量も平年並みかやや少なかったが、収穫前の10月には長雨となった。このように、両年とも天候はダイズの栽培に必ずしも好適ではなかった。

試験圃場内で確認された雑草は全体で17科48種

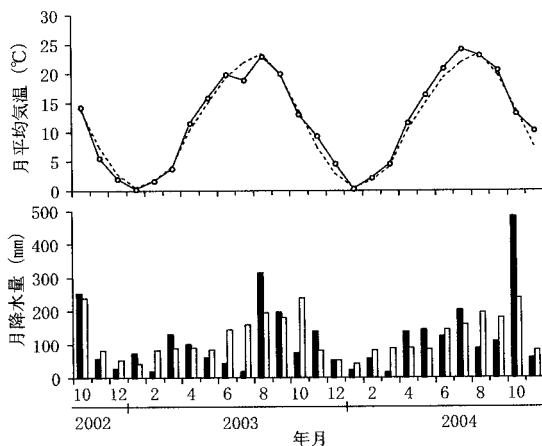


図27 試験期間中の月平均気温(○)およびその平均値(…)ならびに月降水量(■)およびその平均値(□)

であった。ダイズは全ての区で不耕起栽培したが、前年秋のオオムギ播種前に耕起を行っているため、ダイズ播種直前、8月下旬ともに全般的に一年生または二年生の広葉雑草が多い傾向がみられた(表13)。具体的には、狭畦・放任区(処理5)では播種直前にはハルタデ(*Persicaria vulgaris* Webb et Moq.)が、8月下旬には広葉雑草についてはシロザ(*Chenopodium album* L.)、ハルタデ(*Persicaria vulgaris* Webb et Miq.)、メマツヨイグサ(*Oenothera biennis* L.)などが、イネ科雑草についてはメヒシバ(*Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler)、イヌビエ(*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. var. *crus-galli*)が多くみられた。多年生雑草については、2004年のみヨモギ(*Artemisia princeps* Pampan)がめだった。種組成には処理区間で明確な相違が認められなかった。

雑草の乗算優占度を広葉およびイネ科の一、二年生雑草と多年生雑草にまとめて分散分析を行ったところ、ダイズ播種直前、8月下旬ともに、処理の効果のみが有意となり、年次の効果および処理と年次の交互作用は有意でなかった(表14, 15)。ただし、多年草については処理の効果は有意でなかった。雑草の乗算優占度の総和はダイズ播種直前、8月下旬ともに、狭畦・放任区(処理5)でもっとも大きく、ついで対照区(処理6)であった。カバークロープ体系の4つの処理区(処理1, 2, 3, 4)では乗算優占度の総和は狭畦・放任区、対照区に比べて小さかった。このような傾向は、8月下旬の一年生広葉雑草、一年生イネ科雑草および多年生雑草ならびにダイズ播種直前の一年生広葉雑草において同様に認められた。ダイズ播種まではカバークロープ体系の処理区間では処理内容に差がないため、播種直前における雑草の乗算優占度には違いが見られなかった。8月下旬においても、カバークロープ体系の区間では有意差は認められなかったが、除草剤帯状処理・機械除草区(処理4)でもっとも値が小さかった。

2003年および2004年におけるダイズの収量は、天候不順のため全処理区の平均でそれぞれ233g/m<sup>2</sup>および221g/m<sup>2</sup>と、全般的にやや低かったが、カバークロープ体系の処理区では235-289g/m<sup>2</sup>の収量が得られた(表16)。ダイズの収量が最も多かったのは除草剤帯状処理・機械除草区であった。ダイズの生育量については、カバークロープ体系では分枝数、茎の太さ、茎重、稔実莢数、稔実莢重の値が大きい

表 13 ダイズ播種直前および8月下旬における雑草と作物の種毎の乗算優占度 (× 0.01m<sup>3</sup>m<sup>2</sup>)

科名	種名	生活環	調査年月日																														
			2003年												2004年																		
			6月3日						8月21日						5月31日						8月25日												
			1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6							
[雑草]																																	
トクサ	スギナ	p																	0	0			0	0									
キク	アメリカセンダングサ	a																						3	2	0	1						
	イワニガナ	p																						0	0	0	0						
	オニタビラコ	b																	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	オノノゲシ	a			0		0																	0		0	0						
	セイヨウタンポポ	p			0		0												0	0			0	0	0	0	0						
	チチコグサ	p																															
	ノボロギク	a	0				0	0	0														0	0			0						
	ハハコグサ	b																						0		0	0						
	ハルジオン	p		0															0	0			0	0	0	0	0						
	ヒメジョオン	b																					0										
	ヒメムカシヨモギ	a																	0	0	0	0	0	0			0						
	ブタクサ	a			0															2	0	0					6	13					
	ブタナ	p																					0										
	ヨモギ	p	0		0																		1	0	0	0	0	6					
ゴマノハグサ	オオイヌノフグリ	b	0			0	0																0	0			0						
	タチイヌノフグリ	a																						0	0	0							
シソ	ナギナタコウジュ	a								0	0																						
	ホトケノザ	a			0	1	0													0								0					
アカバナ	メマツヨイグサ	b				0	0				0	12	1										0	0		0	0	7					
カタバミ	カタバミ	p																		0	0												
トウダイグサ	エノキグサ	a				0	0			0	0	0	0	0											0	0	0	0					
	コニシキソウ	a									0	0															0						
	ヒメミカンソウ	a																							0	0							
マメ	シロツメクサ	p									0																						
	ナヨクサフジ	a					0																	0									
アブラナ	イヌガラシ	p																							0			0					
	スカシタゴボウ	b									0													0		0	0						
	タネツケバナ	a																						0									
	ナズナ	a				1	0																	0	0	0							
ナデシコ	ウシハコベ	a					0			0		0	0																				
	オランダミミナグサ	a	0	0	0	0	0	0																0	0	0	0	0					
	コハコベ	a	0	0	0	0	0	0																0	0	0	0	0					
	ノミノフスマ	a					0			0	0	0												0	0	0	0	0					
アカザ	シロザ	a			0	1	0			0	0	0	0	21	0									0	0	0	0	43	0				
スベリヒユ	スベリヒユ	a																									0						
ヒユ	イヌビユ	a																									0						
	ホソアオゲイトウ	a																									1						
タデ	イスタデ	a								0	0														0		0	0	5				
	オオイスタデ	a								0	0		1											1	1	1	1						
	ハルタデ	a	0.2	0.1	0.2	0.1	6	4	0.3	0.2	1	0	18	0.5	1	10	3	0.5	6	4	7	4	2	11	2								
ツユクサ	ツユクサ	a	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
カヤツリグサ	カヤツリグサ	a																															
イネ	アキノエノコログサ	a									0														0								
	イヌビエ	a				0	0					16	1											0		1	0	2	4				
	スズメノテッポウ	a																						0									
	ヌカキビ	a																						0			1						
	メヒシバ	a			0	0	0			0	2	0	2	1										0	0	6	0	4	0	18	2		
[作物]																																	
マメ	ダイズ	a								76	75	86	83	55	67													110	119	107	109	106	99
イネ	オオムギ	a	22	21	18	20																						18	21	20	22		

注. 1) 処理区番号は表12の通りである。  
 2) 表中の数値は3反復の平均値。各試験区内に3枠 (0.6m×1m) を設けたので、1処理あたり9枠調査したことになる。  
 3) 空欄は不在を、0は存在するが、乗算優占度 (×0.01 m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup>) が0.05未満であることを示す。  
 4) 実験計画は年次を一次要因、処理を二次要因とする分割区法であり、2003年と2004年で処理区の位置は異なる。  
 5) 生活環のa, b, pはそれぞれ一年草、二年草、多年草を示す。

傾向がみられた(表16)。主茎長は畦幅が狭い場合に長くなる傾向があり、冬作オオムギの導入による影響は認められなかった。百粒重は、カバークロープ体系で若干重い傾向がみられた。8月下旬の雑草の乗算優占度とダイズの収量の関係を見ると(図28)、カバークロープを栽培しない体系(処理5, 6)については弱い負の相関が認められた。しかし、

カバークロープ体系の試験区では雑草の乗算優占度がカバークロープを栽培しない体系の試験区と同じ程度であっても収量がより高い傾向があった。

### 3. 考 察

ダイズの前作となる冬作オオムギを耕起栽培して刈り敷くカバークロープ体系では、ダイズを狭畦栽培することで雑草が効果的に抑制され、冬作、

表14 ダイズ播種直前(5月下旬)における雑草の乗算優占度と分散分析結果

要因	雑草の乗算優占度 <sup>3)</sup> ( $\times 0.01\text{m}^3 \text{m}^{-2}$ )				
	一年草			多年草	合計
	広葉	イネ科 <sup>1)</sup>	合計		
[処理区平均 <sup>1)</sup> ]					
1 狭畦区	0.95 a	0.00 b	0.60 b	0.35	0.95 a
2 狭畦・除草剤区	1.14 a	0.00 b	0.88 b	0.26	1.14 a
3 機械除草区	0.47 a	0.00 ab	0.43 b	0.04	0.47 a
4 除草剤帯状処理・機械除草区	0.59 a	0.00 b	0.43 b	0.16	0.59 a
5 狭畦・放任区	9.08 a	0.01 a	8.55 a	0.53	9.07 a
6 対照区	7.73 a	0.01 a	4.65 ab	3.08	7.72 a
[分散分析 <sup>2)</sup> ]					
年次	ns	ns	ns	ns	ns
ブロック	ns	ns	ns	ns	ns
処理	*	**	*	ns	*
処理×年次	ns	ns	ns	ns	ns

- 注. 1) 処理区における処理の詳細については本文および第1表を参照。  
 2) 実験計画は年次を一次要因、処理を二次要因とする分割区法。  
 \*, \*\*, \*\*\*はそれぞれ5%, 1%, 0.1%水準で有意。nsは有意でない。  
 3) 同一アルファベットを付した平均値間には有意差なし(TukeyのHSD検定, 5%)。  
 多年草については分散分析で処理が有意でなかったため処理区間の比較は行っていない。  
 4) 4 除草剤帯状処理・機械除草区の値は0.001である。

表15 8月下旬における雑草の乗算優占度と分散分析結果

要因	雑草の乗算優占度 <sup>3)</sup> ( $\times 0.01\text{m}^3 \text{m}^{-2}$ )				
	一年草			多年草	合計
	広葉	イネ科	合計		
[処理区平均 <sup>1)</sup> ]					
1 狭畦区	8.67 b	2.83 b	7.95 b	3.56	11.50 b
2 狭畦・除草剤区	4.83 b	0.07 b	4.27 b	0.64	4.90 b
3 機械除草区	5.32 b	4.08 ab	9.13 b	0.27	9.40 b
4 除草剤帯状処理・機械除草区	2.13 b	0.44 b	2.23 b	0.33	2.57 b
5 狭畦・放任区	79.71 a	19.47 a	86.89 a	12.29	99.18 a
6 対照区	29.17 b	4.19 ab	20.48 b	12.89	33.37 b
[分散分析 <sup>2)</sup> ]					
年次	ns	ns	ns	ns	ns
ブロック	ns	ns	ns	ns	ns
処理	*	***	***	ns	***
処理×年次	ns	ns	ns	ns	ns

- 注. 1)~3) 表14と同じ。

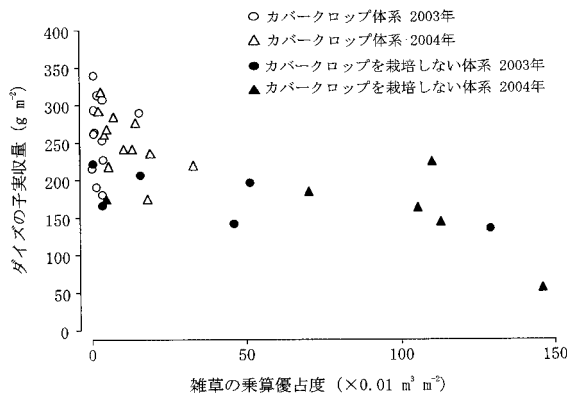


図28 雑草の乗算優占度とダイズの子実収量の関係

各プロットは1試験区の値であり、兩年とも18試験区(6処理×3反復)の値が表示されている。

夏作ともに無除草剤で、刈取除草などの中間管理を行わなくともダイズを栽培できる可能性が示された(表14, 15)。カバークロップの抑草効果は主としてダイズの栽培初期の雑草の出芽抑制によるので(小林ら 2004, Teasdale 1998)、遅れて出芽する雑草による雑草害の回避が重要となる。ダイズの狭畦栽培は、草冠が閉じる時期の早期化によって、遅れて出芽する雑草の生育を抑制することで、カバークロップの抑草効果を補完する効果を有していると考えられる。また、ダイズを慣行の畦幅で栽培し

ても、刈取除草を1回行うことで狭畦栽培と同等の抑草効果を得ることができ、さらに、土壌処理型除草剤の带状処理を組み合わせることによって抑草効果はやや高まった。Donald (2000) は、土壌処理型除草剤および出芽後の茎葉処理型除草剤の带状処理に2回以上の刈取除草を組み合わせることによって一年生雑草を効果的に防除することができたと報告している。本試験で、1回の刈取除草で十分な抑草効果が得られ、出芽後の茎葉処理型除草剤の散布も不要だったのは、カバークロップの効果によるものと考えられる。なお、年次間の気象条件の違い(図27)や生産されたオオムギの現存量の違いによる抑草効果の変動は認められず、本試験の範囲では、処理の効果は比較的安定しているものと考えられた。

ダイズの不耕起栽培では、畦幅や除草剤散布の有無にかかわらず、前作となる冬作にオオムギを栽培して刈り敷くことによって収量が増加する傾向のあることが示された(表16)。ダイズの生育量の調査結果からすると、ダイズの高い収量は、植物体の生育自体が旺盛であったことによってもたらされたことと判断される。その要因としては、被陰によって一年生夏雑草の出芽が抑制され、雑草の現存量が減少したことに伴う雑草害の回避が第一にあげられる。しかし、雑草の乗算優占度と収量の関係から、カバークロップ体系における増収効果には雑草害の回避以

表16 ダイズの子実収量、生育量と分散分析結果

要因	ダイズの形質 <sup>3)</sup>								
	子実収量	主茎長	分枝数	節数	茎太	茎重	稔実莢数	稔実莢重	百粒重
[処理区平均 <sup>1)</sup> ]	g m <sup>-2</sup>	cm	個体 <sup>-1</sup>	個体 <sup>-1</sup>	cm	g 個体 <sup>-1</sup>	m <sup>-2</sup>	g m <sup>-2</sup>	g
1 狭畦区	244 ab	79.7 abc	2.2 bcd	15.1 a	7.4 ab	9.4 b	1014 a	645 a	30.3 a
2 狭畦・除草剤区	258 ab	83.1 a	2.7 b	15.3 a	7.7 a	9.8 ab	1002 a	651 a	30.8 a
3 機械除草区	235 ab	76.2 bc	2.4 bc	15.2 a	7.6 ab	9.6 ab	863 ab	550 ab	30.4 a
4 除草剤带状処理・機械除草区	289 a	75.2 c	3.7 a	15.3 a	8.1 a	11.5 a	1025 a	660 a	30.9 a
5 狭畦・放任区	149 c	84.3 a	1.4 d	14.4 a	6.5 c	6.7 c	635 b	364 b	28.1 a
6 対照区	186 bc	81.0 ab	1.6 cd	14.9 a	6.9 bc	7.7 bc	911 ab	531 ab	28.1 a
[年次平均]									
2003年	233	85.6	3.0	15.6	6.9	8.2	1079	673	27.6
2004年	221	74.2	1.7	14.5	7.9	10.0	739	460	31.9
[分散分析 <sup>2)</sup> ]									
年次	ns	*	**	**	*	ns	ns	*	*
ブロック	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
処理	***	***	***	ns	***	***	*	**	*
処理×年次	ns	***	*	ns	ns	*	*	*	ns

注. 1)~3) 表14と同じ。

外の要因も関与していたと推察される(図28)。増収メカニズムの解明とそれに基づく施肥法の適正化のためにはダイズの養分吸収や圃場における窒素フローを明らかにする必要がある、それらは今後の課題として残された。

#### 4. 摘要

不耕起ダイズ栽培において前作となる冬作にオオムギをカバークロップとして栽培し、このカバークロップ体系にダイズの狭畦，畦間の刈取除草および除草剤の帯状処理を組み合わせることで抑草効果とダイズの収量を調べた。冬作オオムギは秋季に耕起した後播種し、その跡にダイズを不耕起栽培した。試験は2002-2004年の2作期に行った。

試験の結果、冬作オオムギを栽培したカバークロップ体系の処理区ではいずれも顕著な抑草効果が認められ、ダイズの収量も高かった。

冬作オオムギを栽培しない対照区を含む6処理区の中で最も抑草効果が高く、ダイズの収量が多かったのは冬作オオムギを栽培することに加えてダイズ播種後に土壌処理型除草剤を畦部分に帯状処理し、生育期に畦間の刈取除草を1回行う処理区であった。

冬作オオムギを栽培し、ダイズを狭畦栽培した場合には、除草剤散布や畦間の刈取除草を行わなくても十分な抑草効果が得られ、ダイズの収量も高かった。生育量の調査から、高収量は植物体の旺盛な生育によってもたらされたことが示唆された。

#### 総合考察

本研究では、第一に、不耕起ダイズ栽培において優占して問題になる雑草種を明らかにし、その生態的特性、主としてシードバンクと発生に関する生態を解明した。第二に、明らかになった優占雑草の生態的特性を踏まえて、耕種的防除法としてカバークロップの利用が有効であるとの仮説を設定し、その抑草効果を明らかにするとともに、カバークロップを活用した耕種的防除法の組み立てを試みた。植生調査により不耕起栽培ではイネ科の一年生雑草が優占する傾向にあることが明らかになったため、なかでも特に優占が著しいメヒシバをとりあげ、その生態を詳細に検討することとした。本章では、研究の総括として、はじめに不耕起畑における優占雑草の生態的特性の一般化を試み、次にダイズ栽培における耕種的防除法活用の方向性について論ずることとする。

本研究で明らかになった不耕起栽培と耕起栽培における雑草植生の相違は次のように要約される。すなわち、不耕起栽培では、その継続期間が長くなるにつれて多年生雑草が次第に増加する傾向にあるが、夏作物栽培では耕起畑と同じく優占雑草は一年生夏雑草である。なかでもメヒシバをはじめとしたイネ科雑草が増加する傾向が見られ、その点で広葉雑草が多く見られる耕起栽培とは明らかに異なる。不耕起畑でイネ科雑草が増加する主要因として出芽数の増加があげられる。一方、広葉雑草の出芽は総じて耕起に依存する面があり、耕起が行われた直後に多数の出芽が見られるが、不耕起畑では発生が少ない。イネ科雑草と広葉雑草の間にみられるこうした発生に関する生態的特性の違いは、圃場における種子の寿命の長短によるシードバンクの大きさによっているものと推察された。すなわち、メヒシバをはじめとしたイネ科雑草は種子の寿命が短いものが多いため、形成されるシードバンクの量は少ない傾向がある。メヒシバは種子の寿命が特に短いため、新たな種子生産・自然散布直前にはシードバンクはごくわずかとなる。このため、イネ科雑草の土中の種子は不耕起栽培では急速に減耗し、出芽個体の多くは前年に散布されて地表付近にある種子に由来するものになる。耕起は地表付近の種子の埋土を助けるが、土中の種子の掘り出しの効果は少なく、結局、出芽可能な浅い土層に分布する種子を減少させ、出芽数を減少させる効果が卓越する。一方、シロザなどの広葉雑草は、イネ科雑草に比べて種子の寿命が長い場合、形成されるシードバンクは大きい傾向がある。耕起は地表付近の種子の埋土を助長する一方で、土中の種子の掘り出しの効果も大きいため、耕起栽培で多くの個体が出芽し、その出芽は、耕起直後に集中する傾向がある。

Thompson and Grime (1979) は草本植物のシードバンクを、種子が通年みられる常在型 (persistent seed bank) と、全くみられない時期のある非常型 (transient seed bank) に分類した。その後、Roberts (1981), Grime (1981), Baskin and Baskin (1998) らによって、より実態に即した様々なタイプのシードバンクの型が提示されているが、大括りにとらえれば多くの畑雑草は常在型のシードバンクを形成すると考えられる。本実験で詳細な検討を行ったメヒシバのシードバンクも常在型であり、季節消長としては Roberts (1981) がミチヤナギを例と

して示した夏雑草型のシードバンクに類似する。しかし、新たな種子生産・自然散布直前には著しく少なくなるという意味では非常在型に近い面を有している。上で考察したように、常在型シードバンクのうち、大きなシードバンクを形成するものは耕起栽培で優占し、シードバンクがごくわずかなものは不耕起栽培で優占する傾向があるかもしれない。このように、シードバンクの季節消長の特性は、雑草の耕起、不耕起に対する適応と対応関係がある可能性がある。不耕起栽培における垂直分布を考慮したシードバンクの季節消長を耕起栽培との比較の上で明らかにして類型化する研究は、不耕起栽培における雑草防除技術の開発のための基礎的な知見となるのみならず、耕起という農耕地における最も本質的な攪乱に対する雑草の適応様式を明らかにするという意味で、生態学的にも興味深いテーマであると考えられる。

以上が本研究の結果から推定される不耕起栽培における優占雑草の生態的特性であり、より端的に言えば、イネ科の一年生夏雑草が不耕起栽培で優占するメカニズムである。これを踏まえて、ダイズの不耕起栽培における雑草の耕種的防除法について次に検討する。

まず、広葉雑草は一般に種子の寿命が長く、大きなシードバンクを形成する。このため、新たな種子の掘り出しを抑制する不耕起栽培自体が防除につながると考えられる。ただし、不耕起栽培では出芽数が減少するからといって、土中の埋土種子は必ずしも減少するわけではないことに留意すべきである。したがって、不耕起栽培をおこなう場合は播種時にできるだけ土壌を攪拌しないことが望ましい。土壌を攪拌することで、土中から新たに出芽可能な浅い層に種子が供給され、出芽が増加する可能性があるからである。一方、イネ科雑草は一般的に種子の寿命が短く、形成されるシードバンクは小さい。このため、出芽可能な浅い層にある種子が埋め込まれない不耕起栽培によって増加する傾向があるので、その防除を考える必要がある。防除法の検討にあたっては、シードバンクが地表に集中するため、出芽深度が浅くなることは重要な特徴である。すなわち、一年生雑草の究極的な防除対象であるシードバンクは不耕起によって地表付近に集まってくるわけで、

ある意味では、管理のしやすい状態にある。例えば火災や熱水、化学物質など（野口・江川 1994, 牛木ら 2002, 野口・中谷 1992）による物理的または化学的手法により、少ないエネルギーで効率的に雑草の種子を死亡させることができる可能性がある。また、この出芽深度の浅化は、土壌処理型除草剤の合理的な使用に対しても重要な情報になると考えられる。

さらに各種のマルチは、光の抑制、温度条件の変化を通じて、地表の種子の発芽を抑制する効果を有すると考えられる。特に、本研究で開発した冬作カバークロップを導入し、播種直前に刈り敷く技術は雑草の出芽抑制に有効である。太陽光はカバークロップの茎葉を透過することで光量が減少し、地温の日変動の幅が狭くなるだけでなく、R/FR比が低下するため、フィトクロムが関与したメヒシバなどの発芽が効果的に抑制されるからである。

なお、類似の技術として被覆作物をダイズと同時に播種するリビングマルチがある。これはダイズ播種後に発生する雑草の生育を抑制するもので、播種時の土壌処理型の除草剤および生育期の茎葉処理型の除草剤を代替する可能性のある技術である。しかし、この技術では播種時に現存する雑草の防除は難しい。したがって、リビングマルチは播種前に耕起を行う耕起栽培に適用すべき技術であり、不耕起栽培で利用するならば、播種前の茎葉処理型除草剤の使用が前提になる。一方、冬作カバークロップはダイズ播種の前後を通じて雑草の出芽を抑制するもので、播種時に現存する雑草もあわせて減少させるので、主として播種前の茎葉処理型除草剤および播種時の土壌処理型除草剤を代替する可能性のある技術である。雑草の出芽を抑制するためにはダイズを不耕起播種し、地表の被覆を維持するのが前提であり、不耕起栽培で適用すべき技術であるということが出来る。

そこで本研究では、冬作カバークロップとしてオオムギを採用し、その雑草防除効果を検証した。その結果、冬作オオムギを導入し、ダイズの播種直前に刈り敷くことで、主としてメヒシバなどのイネ科一年生夏雑草の発生を効果的に抑制することができた。一方、広葉雑草については、不耕起栽培自体が発生を抑制する効果があった。全体としてみれば、冬作オオムギの導入だけでは雑草抑制効果は必ずしも十分ではなかったが、オオムギの条間を狭くする



ドリル播きとダイズの狭畦栽培などを組み合わせることで、冬作、夏作ともに抑草効果が高めることが可能であった。なお、雑草害を軽減する効果以上にダイズの収量が向上する傾向があることもこの栽培体系の利点の一つである。

東北地方では、ダイズと麦類の1年2作体系を成立させるための立毛間播種技術(天羽 2004, 滝澤・星 2002)や、稲・麦・大豆の2年3作体系などが提案されているものの、一般的には畑作物だけで土地利用効率を高めることは難しく、結果として多くのダイズ栽培が1年1作の単作となっている(農林水産省生産局畑作振興課 2004)。しかし、たとえ冬季の半年間だけであっても作物が栽培されない場合には、雑草が繁茂して景観的に好ましくないだけでなく、作物栽培において問題となる雑草種子による圃場の汚染が確実に進行する。また、地域および条件によっては雑草による養水分の収奪などともなう地力低下や土壌浸食の原因になるとも考えられる。一方、収穫を期待する作物の導入は難しくても、カバークロップは栽培可能期間の長短にかかわらず導入可能である。さらに、ダイズの増収効果や地力の維持向上など多くの点で有利である。このように、栽培体系として無理のないカバークロップとして冬作オオムギを導入することで除草剤の使用量を削減すると同時に地力の維持向上を図りながら主作物であるダイズの生産性を高めることが期待される。

以上を踏まえ、南東北地域におけるカバークロップとして冬作オオムギを利用して除草剤の使用量を削減し、慣行栽培並かそれ以上の収量を得るために現時点で想定される栽培体系を以下に示す。

まず、冬作オオムギを耕起後播種する。品種は栄養成長が旺盛で、晩生のものが望ましい。除草剤は使用しない。オオムギの生育を十分確保するため、適期に播種する。被蔭の強化の意味から30 cm以下の狭条間、密植(播種量; 10 g m<sup>-2</sup>)とする。ダイズは可能な限り耐倒伏性の強い品種を用い、オオムギの刈り敷きと同時に不耕起播種する。狭畦(30 cm以下)、密植(5 g m<sup>-2</sup>以上)とし、播種時の茎葉処理型除草剤の散布は省略するが、一年生夏雑草の埋土種子量が多い場合は、土壌処理型除草剤のみ散布する。多年生雑草などの増加が速く、不耕起栽培の継続が困難な場合には、不耕起栽培を1年とし、再び冬作オオムギの耕起栽培から開始する。この場

合、一年生夏雑草の埋土種子量が少なければ冬、夏ともに無除草剤での栽培が可能である。不耕起栽培を継続できる場合には、オオムギ播種時に、冬生の一年生雑草、二年生雑草および多年生雑草対策として、非選択性の茎葉処理型除草剤を散布する。以下、ダイズ栽培は同様の栽培方法を繰り返す。ただし、雑草量は年々増加する傾向があるので、不耕起栽培は長くても3年までとした方が雑草防除上有利と考えられる。

技術の現場普及のためには、今後、カバークロップに要素技術を組み合わせた場合の効果を実地への導入で明らかにし、各地域において実用化に耐えうる組み合わせを見いだした上で、省力化、低コスト化に及ぼす効果がどの程度かという経営的な観点から検討することが必要となろう。その際、安定した技術となりうるか否かを定める重要な技術要素であるが、この研究で十分な検討を行わなかったものとして、播種機があげられる。技術の安定のためには、土壌を過剰に攪乱することなく、ダイズの種子を安定的に播種する播種機が必須である。良好な苗立ちが確保できれば、ダイズ自体の持つ抑草力を期待できるし、特に火山灰土壌での不耕起栽培では一般に畑作物の初期生育は旺盛となるので(辻ら 1995)、雑草防除上有利である可能性がある。

また、雑草防除技術の有効性は、本技術を適用する圃場のシードバンクの量や組成に大きく左右される。本研究は全て試験場内の圃場でおこなったものであるが、「試験場内の試験で良い成績だったから現場に持って行ったのに失敗した。」ということは常に心配されることである。その意味で、初期条件としてのシードバンクの状態は常に意識されるべきである。実用化の場面を考えた場合には、無除草剤で対応可能なシードバンクの量を明らかにし、除草剤を使用すべきか否かを判断するための基準が求められる。そのためには、シードバンクの量を圃場ごとに簡便に推定する手法が必要となる。実験レベルでシードバンクの量を推定する手法は概ね確立しており(Roberts 1981, 高柳ら 1990)、本研究でもメヒシバで推定を試みたが、いずれも実圃場で簡便に活用できるものではない。技術の実用化の場面では、精密さよりもむしろ簡便性を重視した推定手法(高柳 2001)の確立が望まれる。

さらに、具体的な技術や技術の組み合わせの効果の判断に当たっては、当作で雑草害が生じないだけ

でなく、シードバンクを現状よりも大きくしないという点も考慮されるべきである。営農現場において、「当作でダイズの収量が確保されるならある程度の雑草の繁茂はやむを得ない。」という姿勢で本技術を導入するとすれば、中長期的に見て雑草のシードバンクを大きくさせ、作物生産の継続を困難にしてしまう危険性がある。これはある意味で「収奪的」な技術と言わざるを得ない。技術の普及や指導にあたっては、シードバンクの特性とその圃場での状況を知り、除草剤を合理的に使用することで、真に「持続」可能な農法にしていく必要があると考える。

### 引用文献

- 1) 天羽弘一. 2004. 大豆・麦立毛間播種栽培体系の概要と雑草防除上の問題点. 雑草研究 49(別): 222-223.
- 2) Andrade, F. H.; Calviñob, P.; Ciriloc, A.; Barbieri, P. 2002. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. Agron. J. 94 : 975-980.
- 3) 有原丈二. 2000. ダイズ安定多収の革新技術. 東京. 農文協. p.188-195.
- 4) Barrons, K. D.; Fitzgerald, C. D. 1952. An experiment with chemical seedbed preparation. Down Earth 8 : 2-3.
- 5) Baskin, C. C.; Baskin, J. M. 1998. Seeds -Ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination-. London. Academic Press. p.141-143.
- 6) Benvenuti, S.; Macchia, M.; Miele, S. 2001. Quantitative analysis of emergence of seedlings from buried weed seeds with increasing soil depth. Weed Sci. 49 : 528-535.
- 7) Blackshaw, R. E. 1994. Crop rotation and tillage effects on weed populations on the semi-arid Canadian prairies. Weed Technol. 8 : 231-237.
- 8) ブラウン-ブランケ (鈴木時夫訳). 1964. 植物社会学 I. 東京. 朝倉書店. p.12-193.
- 9) Buhler, D. D. 1992. Population dynamics and control of annual weeds in corn (*Zea mays*) as influenced by tillage systems. Weed Sci. 40 : 241-248.
- 10) Buhler, D. D. 1996. The effect of maize residues and tillage on emergence of *Setaria faberi*, *Abutilon theophrasti*, *Amaranthus retroflexus* and *Chenopodium album*. Weed Res. 36 : 153-165.
- 11) Buhler, D. D.; Oplinger, E. S. 1990. Influence of tillage systems on annual weed densities and control in solid-seeded soybean (*Glycine max*). Weed Sci. 38 : 158-165.
- 12) Buhler, D. D.; Kohler, K. A.; Thompson, R. L. 2001. Weed seed bank dynamics during a five-year crop rotation. Weed Technol. 15 : 170-176.
- 13) Buhler, D. D.; Stoltenberg, D.; Becker, R. L.; Gunsolus, J. L. 1994. Perennial weed populations after 14 years of variable tillage and cropping practices. Weed Sci. 42 : 205-209.
- 14) Cardina, J.; Regnier, E.; Harrison, K. 1991. Long-term tillage effects on seed banks in three Ohio soils. Weed Sci. 39 : 186-194.
- 15) Clements, D. R.; Benoit, D. L.; Murphy, S. D.; Swanton, C. J. 1996. Tillage effects on weed seed return and seed bank composition. Weed Sci. 44 : 314-322.
- 16) Crutchfield, D. A.; Wicks, G. A.; Burnside, O. C. 1985. Effect of winter wheat straw mulch level on weed control. Weed Sci. 34 : 110-114.
- 17) Cussans, G. W. 1975. Weed control in reduced cultivation and direct drilling systems. Outlook on Agriculture 8 : 240-242.
- 18) Dale, M. R. T.; Thomas, A. G.; John, E. A. 1992. Environmental factors including management practices as correlates of weed community composition in spring seeded crops. Can. J. Bot. 70 : 1931-1939.
- 19) Derksen, D. A.; Lafond, G. P.; Thomas, A. G.; Loepky, H. A.; Swanton, C. J. 1993. Impact of agronomic practices on weed communities: tillage systems. Weed Sci. 41 : 409-417.
- 20) Derksen, D. A.; Thomas, A. G.; Lafond, G. P.; Loepky, H. A.; Swanton, C. J. 1995. Impact of post-emergence herbicides on weed community diversity within conservation-tillage systems. Weed Res. 35 : 311-320.
- 21) Dirks, J. T.; Johnson, W. G.; Smeda, R. J.;

- Wiebold, W. J.; Massey, R. E. 2000. Reduced rates of sulfentrazone plus chlorimuron and glyphosate in no-till, narrow-row, glyphosate-resistant *Glycine max*. Weed Sci. 48 : 618-627.
- 22) Dorado, J.; Del monte, J. P. 1999. Weed seedbank response to crop rotation and tillage in semiarid agroecosystem. Weed Sci. 47 : 67-73.
- 23) du Croix Sissons, M. J.; Van Acker, R. C.; Derksen, D. A.; Thomas, A. G. 2000. Depth of seedling recruitment of five weed species measured in situ in conventional- and zero-tillage fields. Weed Sci. 48 : 327-332.
- 24) Egli, D. B.; Bruening, W. P. 2000. Potential early-maturing soybean cultivars in late plantings. Agron. J. 92 : 532-537.
- 25) 榎本敬, 嶺田拓也, 渡辺修. 1994. 韓国と日本の雑草フロアの類似性について. 雑草研究 39(別) : 270-271.
- 26) 榎本敬, 宮部満, Kim Dong Sung, Park Soo Hyun. 1996. 済州島(韓国)における雑草と帰化植物. 雑草研究 41(別) : 264-265.
- 27) Facelli, J. M.; Pickett, S. T. A. 1991. Plant litter: light interception and effects on an old-field plant community. Ecology 72 : 1024-1031.
- 28) Frick, B.; Thomas, A. G. 1992. Weed surveys in different tillage systems in southwestern Ontario field crops. Can. J. Plant Sci. 72 : 1337-1347.
- 29) Froud-Williams, R. J.; Chancellor, R. J.; Drennan, D. S. H. 1981. Potential changes in weed floras associated with reduced-cultivation systems for cereal production in temperate regions. Weed Res. 21 : 99-109.
- 30) Froud-Williams, R. J.; Drennan, D. S. H.; Chancellor, R. J. 1983. Influence of cultivation regime on weed floras of arable cropping systems. J. Appl. Ecol. 20 : 187-197.
- 31) Froud-Williams, R. J.; Chancellor, R. J.; Drennan, D. S. H. 1984. The effects of seed burial and soil disturbance on emergence and survival of arable weeds in relation to minimal cultivation. J. Appl. Ecol. 21 : 629-641.
- 32) Gauch, H. G. 1982. Multivariate Analysis in Community Ecology. New York. Cambridge University Press. 298p.
- 33) Gebhardt, M. R.; Daniel, T. C.; Schweizer, E. E.; Allmaras, R. R. 1985. Conservation tillage. Science 230 : 625-630.
- 34) Grime, J. P. 1981. The role of seed dormancy in vegetation dynamics. Ann. Appl. Biol. 98 : 555-558.
- 35) 萩森福督. 1965. メヒシバの個生態. 雑草研究 4 : 28-33.
- 36) Hartwig, N. L.; Ammon, H. U. 2002. Cover crops and living mulches. Weed Sci. 50 : 688-699.
- 37) Herron, J. W.; Thompson, L.; Slack, C. H. 1971. Weed problems in no-till corn. Proc. 24th Sth. Weed Sci. Soc. : 170.
- 38) Hill, M. O.; Gauch, H. G. 1980. Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. Vegetatio 42 : 47-58.
- 39) Hill, M. O. 1979. TWINSPLAN-A FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Ecology and Systematics, New York, Cornell University.
- 40) Hoffman, M. L.; Owen, M. D. K.; Buhler, D. D. 1998. Effects of crop and weed management on density and vertical distribution of weed seeds in soil. Agron. J. 90 : 793-799.
- 41) Holshouser, D. L.; Whittaker, J. P. 2002. Plant population and row-spacing effects on early soybean production systems in the Mid-Atlantic USA. Agron. J. 94 : 603-611.
- 42) 井上一博, 宮川秀雄, 佐々木和則. 2000. 大麦のマルチ効果を利用した大豆の省力栽培法. 第1報 混播による大豆の生育及び収量. 東北農業研究 53 : 103-104.
- 43) 井上康則. 1982. (光形態形成. 勝見充行, 増田芳雄編, 実験生物学講座 16 植物生理学(II)). 東京. 丸善. p.139-166.
- 44) 井上博道. 1999. デントコーン栽培における施肥法及び除草剤処理法と雑草の生育反応. 東北雑草研究 99 要旨集 : 10.
- 45) 伊藤一幸, 木野内和夫, 間谷敏邦, 中島征夫. 1989. 麦跡大豆不耕起播種栽培における除草剤の効果と薬害. 雑草研究 34(別) : 173-174.

- 46) 伊藤操子. 1993. 雑草学総論. 東京, 養賢堂. 362p.
- 47) 伊藤操子, 森田亜貴. 1999. 地下で広がる多年生雑草たち. 京都. 京大大学院農学研究科雑草学分野. p.19-22.
- 48) 伊藤操子. 1989. 雑草の生理と生態 [5] - 適切な制御の基礎として -. 農及園 64 : 669-674.
- 49) James, C. 2003. *Global status of commercialized transgenic crops: 2003*. ISAAA SEAsiaCenter, Manila.
- 50) 金沢晋二郎. 1995. 持続的・環境保全型農業としての不耕起栽培 畑作物の収量と土壌の特性. 土肥誌 66 : 286-297.
- 51) King, A. D.; Holcomb, G. B. 1985. Conservation tillage: Things to consider. Info. Bull. 461. Wasington, D. C., USDA.
- 52) Knake, E. L.; Appleby, A. P.; Furtick, W. R. 1967. Soil incorporation and site of uptake of pre-emergence herbicides. Weeds 15 : 228-232.
- 53) Knezevic, S. Z.; Evans, S. P.; Mainz, M. 2003. Row spacing influences the critical timing for weed removal in soybean. Weed Technol. 17 : 666-673.
- 54) 小林浩幸. 2004a. 不耕起栽培における雑草発生の特徴と耕種防除. 農業技術 59 : 323-327.
- 55) 小林浩幸. 2004b. ダイズ栽培におけるリビングマルチとカバークロップを中心とした省除草剤雑草管理技術の研究動向. 東北の雑草 4 : 1-7.
- 56) 小林浩幸, 土井倫子, 小柳敦史. 2005. 地表面で越冬した夏畑雑草種子の発芽に対する温度と光条件の影響. 雑草研究 50(別) : 134-135.
- 57) 小林浩幸, 三浦重典, 小柳敦史. 2002a. 不耕起大豆作での冬作緑肥導入による夏生一年生雑草の防除. 雑草研究 47(別) : 126-127.
- 58) 小林浩幸, 三浦重典, 小柳敦史. 2002b. 不耕起畑における主要イネ科一年生夏雑草の出芽深度. 東北農業研究 55 : 101-102.
- 59) 小林浩幸, 三浦重典, 小柳敦史. 2003. 不耕起大豆作において冬作被覆作物がメヒシバの発芽と埋土種子の消長におよぼす影響. 雑草研究 48(別) : 234-235.
- 60) 小林浩幸, 三浦重典, 小柳敦史. 2004a. 不耕起ダイズ作におけるメヒシバの出芽におよぼす前作オオムギの土壌表面被覆. 雑草研究 49 : 1-7.
- 61) 小林浩幸, 三浦重典, 小柳敦史. 2004b. 冬作カバークロップを用いた不耕起ダイズ作における狭畦化の効果. 雑草研究 49(別) : 202-203.
- 62) Kobayashi, H.; Nakamura, Y.; Watanabe, Y. 2003. Analysis of weed vegetation of no-tillage upland fields based on the multiplied dominance ratio. Weed Biol. Manag. 3 : 77-92.
- 63) 小林浩幸, 中村好男, 渡邊好昭. 2001. メヒシバの出穂性に関する集団構造の不耕起および慣行栽培ダイズ畑の間の差異. 雑草研究 46(別) : 74-75.
- 64) 小林浩幸, 渡邊好昭. 2000. 不耕起刈取と耕耘が定期的に行われた畑における雑草量の季節消長の被度および草高による推定. 東北農業研究 53 : 93-94.
- 65) Kobayashi, H.; Miura, S.; Oyanagi, A. 2004. Effects of winter barley as a cover crop on the weed vegetation in a no-tillage soybean. Weed Biol. Manag. 4 : 195-205.
- 66) Kobayashi, H.; Oyanagi, A. 2005. Digitaria ciliaris seed banks in untilled and tilled soybean fields. Weed Biol. Manag. 5 : 53-61.
- 67) 小林浩幸, 小柳敦史. 2005. 冬作オオムギをカバークロップとして用いた不耕起ダイズ栽培において狭畦化と除草処理が雑草量とダイズの収量に及ぼす影響. 雑草研究 50 : 284-291.
- 68) Koskinen, W. C.; McWhorter, C. C. 1986. Weed control in conservation tillage. J. Soil Water Cons. 41 : 365-370.
- 69) Liebl, R.; Simmons, F. W.; Wax, L. M.; Stoller, E. W. 1992. Effect of Rye (*Secale cereale*) mulch on weed control and soil moisture in soybean (*Glycine max*). Weed Technol. 6 : 838-846.
- 70) Locke, M. A.; Reddy, K. N.; Zablotowicz, R. M. 2002. Weed management in conservation crop production systems. Weed Biol. Manag. 2 : 123-132.
- 71) Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. New Jersey. Princeton University Press. p.34-41.
- 72) Marks, M. K.; Nwachuku, A. C. 1986. Seed bank characteristics in a group of tropical weeds. Weed Res. 26 : 151-157.
- 73) McCune, B.; Mefford, M. J. 1999. PC - ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, ver.

4. Gleneden Beach, Oregon. MjM Software Design.
- 74) 三浦励一. 1999. インドと西アフリカにおけるトウジンビエ畑の雑草植生. 雑草研究 44(別): 212-213.
- 75) 三浦重典, 井上一博, 小林浩幸, 小柳敦史. 2002. 緑肥作物をリビングマルチとして利用した場合のダイズ収量と雑草抑制効果. 日作東北支部報 45: 77-78.
- 76) 三浦重典, 小林浩幸, 井上一博, 小柳敦史. 2003. オオムギをリビングマルチとして利用したダイズ栽培. 日作東北支部報 46: 81-82.
- 77) 三浦重典, 渡邊好昭. 2002. マメ科牧草リビングマルチ条件で栽培したスイートコーンの生育及び収量. 日作紀 71: 36-42.
- 78) Mohler, C. L.; Callaway, M. B. 1995. Effects of tillage and mulch on weed seed production and seed banks in sweet corn. J. Appl. Ecol. 32: 627-639.
- 79) Mohler, C. L.; Teasdale, J. R. 1993. Response of weed emergence to rate of *Vicia villosa* Roth and *Secale cereale* L. residue. Weed Res. 33: 487-499.
- 80) 森田弘彦. 1994. カズノコグサとスズメノテッポウにおける中胚軸の伸張特性とジニトロアニリン系除草剤に対する反応の差異. 雑草研究 39: 165-170.
- 81) Mulugeta, D.; Boerboom, C. M. 2000. Critical time of weed removal in glyphosate-resistant *Glycine max*. Weed Sci. 48: 35-42.
- 82) 中村好男. 2000. 土壤動物と植生遷移の関連-雑草の土壤圏活用型防除は可能か-. 農及園 75: 366-370.
- 83) 中谷敬子, 野口勝可. 1991. 転換畑の大豆不耕起栽培における栽植様式の差異が雑草の抑制効果に及ぼす影響. 雑草研究 36(別): 170-171.
- 84) 中山兼徳. 1988. 畑地雑草の発生推移と今後の動向. 第21回農業化学シンポジウム講演要旨集: 40-47.
- 85) 中山壮一, 濱口秀生, 渋谷雄二, 小野信一. 2001. 不耕起無中耕無培土栽培大豆における狭畦化と除草剤による抑草効果. 雑草研究 39(別): 72-73.
- 86) 根本正之, 神田巳季男. 1976. 人工草地の雑草群落におよぼす刈取回数の影響. (1) 雑草の群落構造とその変動. 東北大農研報 27: 69-88.
- 87) 野口勝可. 1993. 韓国の転換畑における雑草. 雑草研究 38(別): 20-21.
- 88) 野口勝可, 江川智男. 1994. 畑雑草種子の殺種子法の開発. (3) 熱の殺種子効果. 雑草研究 39(別): 250-251.
- 89) 野口勝可, Gimenz A. A., 中谷敬子. 1993. 大豆の狭畦栽培による雑草抑圧効果. 雑草研究 38(別): 156-157.
- 90) 野口勝可, 森田弘彦. 1997. 除草剤便覧 選び方と使い方. 東京. 農文協. p.260-265.
- 91) 野口勝可, 中谷敬子. 1992. 畑雑草種子の殺種子法の開発. (1) 殺種子剤の検索. 雑草研究 37(別): 194-195.
- 92) 野口勝可, 中谷敬子, Wasala W. M. D. 1990. 大豆の不耕起栽培における除草剤の利用. 雑草研究 35(別): 159-160.
- 93) 農林水産省. 1999. 大豆の不耕起播種技術マニュアル. 東京. 農林水産省大臣官房.
- 94) 農林水産省大臣官房統計部. 2004. 平成15年産大豆の収穫量. 東京. 農林水産省大臣官房統計部.
- 95) 農林水産省生産局農産振興課. 2004. 大豆に関する資料. 東京. 農林水産省生産局.
- 96) 沼田真, 依田恭二. 1957. 人工草地の群落構造と遷移 1. 日草誌 3: 4-11.
- 97) 小笠原勝, 尾張利行, 米山弘一, 竹内安智. 1999. 植物マルチを利用したダイズ少耕起栽培の可能性. 雑草研究 44(別): 290-291.
- 98) 大段秀記, 住吉正, 小荒井昇. 2003. 暖地の大豆多条播栽培における雑草抑制効果. 雑草研究 48(別): 70-71.
- 99) 岡村哲郎, 田中十城, 森脇良三郎, 上野剛, 橋本仁一, 西田勉, 高橋宏和, 竹下孝史. 2005. ピラフルフェンエチルを用いた大豆生育期における広葉雑草防除法. 雑草研究 50(別): 58-59.
- 100) 奥野忠一. 1984. 応用統計ハンドブック. 東京. 養賢堂. p.194-317.
- 101) 奥野忠一, 芳賀敏郎. 1969. 実験計画法. 東京. 培風館. p.131-153.
- 102) Overland, L. 1996. The role of allelopathic substances in the "smother crop" barley. Amer. J. Bot. 53: 423-432.

- 103) Pedersen, P.; Lauer, J. G. 2003. Corn and soybean response to rotation sequence, row spacing, and tillage system. *Agron. J.* 95 : 965-971.
- 104) Post, B. J. 1988. Multivariate analysis in weed science. *Weed Res.* 28 : 425-430.
- 105) Pricelli, E.; Orioli, G.; Sabbatini, M. R. 2002. Demography of *Anoda cristata* in wide- and narrow-row soybean. *Weed Res.* 42 : 456-463.
- 106) Roberts, H. A. 1981. Seed banks in soils. *Adv. Appl. Biol.* 6:1-55.
- 107) Roberts, H. A.; Ricketts, M. E. 1979. Quantitative relationships between the weed flora after cultivation and the seed population in the soil. *Weed Res.* 19 : 269-275.
- 108) Roberts, H. A.; Potter, H. E. 1980. Emergence patterns of weed seedlings in relation to cultivation and rain fall. *Weed Res.* 20 : 377-386.
- 109) Roman, E. S. 1999. Effect of tillage and *Zea mays* on *Chenopodium album* seedling emergence and density. *Weed Sci.* 47 : 551-556.
- 110) 定由直, 三浦励一, 伊藤操子. 1999. 被度と草高に基づく雑草バイオマス量推定の可能性について. *雑草研究* 44(別) : 106-107.
- 111) 佐合隆一, 中川直美. 1999. 除草剤抵抗性ダイズへのヘアリベッチ被覆による不耕起栽培. *雑草研究* 44(別) : 190-191.
- 112) 坂井直樹. 1989. 不耕起栽培の研究状況(1) - 作物収量への影響 -. *農作業研究* 23 : 179-188.
- 113) SAS Institute Inc. 2002. JMP 入門ガイドバージョン 5. Cary. SAS Institute Inc. 167p.
- 114) Schreiber, M. M. 1992. Influence of tillage, crop rotation, and weed management on giant foxtail (*Setaria faberi*) population dynamics and corn yield. *Weed Sci.* 40 : 645-653.
- 115) Shear, G. M. 1985. Introduction and history of limited tillage (In "Weed Control in Limited-Tillage Systems", ed. by Wiese, A. F.). Cham-paign. WSSA. p.1-14.
- 116) Smith, H. 1994. Sensing the light environment: the functions of the phytochrome family (In "Photomorphogenesis in Plants 2nd Edition", ed. by Kendrick, R. E.; Kronenberg, G. H. M.). Dordrecht. Kluwer Academic Publishers. p.377-416.
- 117) Stahl, L. A. B.; Johnson, G. A.; Wyse, D. L.; Buhler, D. D.; Gunsolus, J. L. 1999. Effect of tillage on timing of *Setaria* spp. emergence and growth. *Weed Sci.* 47 : 563-570.
- 118) Staniforth, D. W.; Wiese, A. F. 1985. Weed biology and its relationship to control in limited-tillage systems (In "Weed Control in Limited-Tillage Systems", ed. by Wiese, A. F.). Cham-paign. WSSA. p.15-16.
- 119) Streit, B.; Rieger, S. B.; Stamp, P.; Richner, W. 2003. Weed populations in winter wheat as affected by crop sequence, intensity of tillage and time of herbicide application in a cool and humid climate. *Weed Res.* 43 : 20-32.
- 120) スネデカー J. W., コ克蘭 W. G. (畑村又好, 奥野忠一, 津村善郎共訳) 1972. 統計的方法原著第6版. 東京. 岩波書店. p.312-313.
- 121) Swanton, C. J.; Shrestha, A.; Roy, R. C.; Knezevic, S. 1999. Effect of tillage systems, N, and cover crop on the composition of weed flora. *Weed Sci.* 47 : 454-461.
- 122) Swanton, C. J.; Vyn, T. J.; Chandler, K.; Shrestha, A. 1998. Weed management strategies for no-till soybean (*Glycine max*) grown on clay soils. *Weed Technol.* 12 : 660-669.
- 123) 高林実, 中山兼徳. 1981a. 土壤攪拌の有無が畑雑草の発生に及ぼす影響. *雑草研究* 26 : 41-43.
- 124) 高林実, 中山兼徳. 1981b. 主要畑雑草種子の休眠性の季節変化. *雑草研究* 26 : 249-252.
- 125) 高柳繁, 中谷敬子, 草薙得一, 松永順子, 野口勝可. 1990. 浮選法による土壤中雑草種子分離回収装置の試作. *雑草研究*. 35 : 189-191.
- 126) 高柳繁. 1986. メヒシバ (草薙得一編著, 原色雑草の診断). 東京. 農文協. p.36.
- 127) 高柳繁. 2001. インターネットにより雑草の発生を生産現場で予測する. (2) 現場情報から発生絶対数の予測は可能か. *雑草研究* 46(別) : 68-69.
- 128) 滝澤浩幸, 星信幸. 2002. 大麦-大豆立毛播種栽培法. *東北農業研究* 55 : 75-76.
- 129) Teasdale, J. R. 1998. Cover crops, smother plants and weed management (In "Integrated Weed and Soil Management", ed. by Hatfield, J. L.; Buhler, D. D.; Stewart, B. A.). Chelsea. Ann Arbor Press. p.247-270.

- 130) Teasdale, J. R.; Daughtry, C. S. T. 1993. Weed suppression by live and desiccated hairy vetch (*Vicia villosa*). *Weed Sci.* 41 : 207-212.
- 131) Teasdale, J. R.; Mohler, C. L. 1993. Light transmittance, soil temperature, and soil moisture under residue of hairy vetch and rye. *Agron. J.* 85 : 673-680.
- 132) Thomas, A. G.; Frick, B. L. 1993. Influence of tillage systems on weed abundance in south-western Ontario. *Weed Technol.* 7 : 699-705.
- 133) Thompson, K.; Grime, J. P. 1979. Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. *J. Ecol.* 67 : 893-921.
- 134) Thompson, K.; Grime, J. P. 1983. A comparative study of germination responses to diurnally-fluctuating temperatures. *J. Appl. Ecol.* 20 : 141-156.
- 135) Thompson, L.; Thomas, C. D.; Radley, M. A.; Williamson, S.; Lawton, J. H. 1993. The effect of earthworms and snails in a simple plant community. *Oecologia* 95 : 171-178.
- 136) Tørrensen, K. S.; Skuterud, R.; Tandsather, H. J.; Hgemo, M. B. 2003. Long-term experiments with reduced tillage in spring cereals. 1. Effects on weed flora, weed seedbank and grain yield. *Crop protection* 22 : 185-200.
- 137) Triplett, G. B.; Lytle, G. D. 1972. Control and ecology of weeds in continuous corn grown without tillage. *Weed Sci.* 20 : 453-457.
- 138) 辻博之, 松尾和之, 山本泰由. 1995. 火山灰土壌における不耕起が畑作物の初期生育におよぼす影響. *日作紀* 64(別2) : 181-182.
- 139) 露崎浩, 中川恭二郎, 小田桂三郎, 草薙得一. 1984. メヒシバ種子の発芽に及ぼす地温と土壤浸透光の影響. *雑草研究* 29(別) : 73-74.
- 140) 露崎浩, 中川恭二郎. 1987. メヒシバ種子の休眠覚醒, 発芽特性および死滅に及ぼす埋土位置の影響. *雑草研究* 32 : 209-216.
- 141) Tuesca, D.; Puricelli, E.; Papa, J. C. 2001. A long term study of weed flora shifts in different tillage systems. *Weed Res.* 41 : 369-382.
- 142) 牛木純, 川名義明, 森田弘彦. 2002. 熱水散布が埋土種子の発芽に及ぼす影響. *雑草研究* 47(別) : 234-235.
- 143) 渡邊泰. 1977. 一年生畑雑草の生態に関する研究 6. 埋土種子の発芽に及ぼす光の影響. *雑草研究* 22 : 80-83.
- 144) Wiese, A. F. 1985. Preface: Weed control in limited-tillage systems (In "Weed Control in Limited-Tillage Systems", ed. by Wiese, A. F). Champaign. WSSA. p.iii-vi.
- 145) Wesson, G.; Wareing, P. F. 1967. Light requirements of buried seeds. *Nature* 213 : 600-601.
- 146) Wesson, G.; Wareing, P. F. 1969. The role of light in the germination of naturally occurring populations of buried weed seeds. *J. Exp. Bot.* 20 : 402-413.
- 147) Wrucke, M. A.; Arnold, W. E. 1985. Weed species distribution as influenced by tillage and herbicides. *Weed Sci.* 33 : 853-856.
- 148) 山本嘉人, 桐田博充, 大賀宣彦, 齊藤吉満. 1995. 草地植生の比較を目的とした拡張積算優占度の提案. *日草誌* 41 : 37-41.
- 149) 山下幸司. 2002. 大豆の不耕起無培土密植栽培における群落特性. *日作紀* 71(別2) : 104-105.

## 糸状菌食性線虫の生態及び植物病害抑制への利用

岡田 浩明\*<sup>1)</sup>

抄録：糸状菌食性のニセネグサレセンチュウと *Aphelenchoides* 属線虫について、植物病害抑制への利用の可能性及び無機態窒素の生成作用について検討した。また、*Filenchus* 属線虫の増殖への餌糸状菌や培地の影響を調べた。ニセネグサレセンチュウの福島市系統は糸状菌 *Rhizoctonia solani* による野菜苗立枯病に対して発病抑制効果が高かった。糸状菌による有機物分解を模した実験系で、窒素生成への線虫増殖及び温度の影響を検討するため、ニセネグサレセンチュウと *Ap. composticola* を用いて実験した。糸状菌種が *Rh. solani* の場合は線虫の増殖適温で窒素生成が最大になり、線虫の増殖が土壌中の窒素動態に影響する可能性が示唆された。ただし、他の菌の場合は温度の影響が認められなかった。土壌環境の生物指標としての線虫の利用には、分類群ごとの食性や生活史特性の解明が必要である。しかし、Tylenchidae 科の線虫は、様々な土壌環境に頻出するにもかかわらず食性が不明であった。そこで、世界に広く分布する *Filenchus* 属線虫について糸状菌食性の有無を培養実験で検討した。*Filenchus* 属の3種6系統は、寒天培地のみならず土壌ベースの培地上でも糸状菌を摂食して増殖し、野外の土壌中で *Filenchus* 属が糸状菌食性を発揮することが示唆された。

キーワード：温度、糸状菌、糸状菌食性線虫、食性、増殖、苗立枯病、発病抑制、無機態窒素、有機物分解

**Ecology of Fungivorous Nematodes and Their Use for Suppression of Plant Diseases** : Hiroaki OKADA \*<sup>1)</sup>

**Abstract** : Fungivorous nematodes of the *Aphelenchus avenae* and *Aphelenchoides* species were examined for their ability to suppress fungal diseases of plants and mineralize nitrogen in soil. Nematode species of the genus *Filenchus* were also examined for their reproduction as affected by food fungal species and culture media. The Fukushima-city isolate of *Ap. avenae* was determined effective at preventing cauliflower damping-off caused by the fungus, *Rhizoctonia solani*. *Ap. avenae* and *Ap. composticola* were inoculated into microcosms to examine the influences of nematode reproduction and temperature on nitrogen mineralization by fungi and the nematodes in organic-matter decomposition. When *Rh. solani* was tested in the microcosms, mineralization was the greatest at the optimal temperature of nematode reproduction, suggesting that reproduction did affect soil nitrogen dynamics. However, no such effect appeared for the other fungus. Determination of feeding habits and life history parameters of each nematode taxon is essential in employing nematodes as bio-indicators in soil environments. However, the feeding habits of a common taxon, family Tylenchidae, have not yet been determined. A worldwide representative of the family, genus *Filenchus*, was thus examined to determine whether its species have fungal-feeding habits. Six isolates representing three species of the genus were confirmed to feed on Basidiomycota and other fungi on both agar- and soil-based media to reproduce, suggesting that the *Filenchus* species display fungal-feeding habits in field soils.

**Key Words** : Damping-off diseases, Feeding habits, Fungi, Fungivorous nematodes, Inorganic nitrogen, Organic matter decomposition, Reproduction, Suppression, Temperature

\* 1) 現・農業環境技術研究所(National Institute for Agro-Environmental Sciences, Tsukuba, Ibaraki 305-8604, Japan) 2005年12月8日受付, 2006年2月9日受理



## 目次

I 緒論	156	2) 無機態窒素生成に対する温度と線虫種の影響	169
II 糸状菌食性 <i>Aphelenchida</i> 目線虫の増殖と植物病害抑制への利用	159	4. 考察	171
1. 緒言	159	1) 菌糸生育と線虫増殖率に対する温度の影響	171
2. ニセネグサレセンチュウと <i>Aphelenchoides</i> 属線虫の増殖に及ぼす植物病原菌種の影響	160	2) 菌と線虫による窒素の無機化作用に対する温度の影響	172
1) 材料と方法	160	3) 糸状菌による有機物分解系で糸状菌食性線虫は窒素の無機化に貢献するか?	173
2) 結果と考察	160	IV 新たに糸状菌食性が発見された <i>Filenchus</i> 属線虫	174
3. 土壌病原性糸状菌 3 種 5 株を摂食した東北地方のニセネグサレセンチュウ 4 系統の増殖	161	1. 緒言	174
1) 材料と方法	161	2. 稲藁堆肥中から発見された <i>Filenchus</i> 属線虫の形態	175
2) 結果と考察	162	1) 材料と方法	175
4. 糸状菌性植物病害に対するニセネグサレセンチュウの発病抑制効果	163	2) 結果と考察	175
1) 材料と方法	163	3. <i>Fi. misellus</i> とニセネグサレセンチュウの増殖, 体サイズ, 性比に対する餌糸状菌種の影響	176
2) 結果	164	1) 材料と方法	176
3) 考察	165	2) 結果	178
III 無機態窒素生成に及ぼす線虫種と温度の影響	166	3) 考察	178
1. 緒言	166	4. <i>Filenchus</i> 属線虫 3 種 6 系統の増殖に及ぼす培地と糸状菌種の影響	181
2. 材料と方法	166	1) 材料と方法	181
1) 材料生物の由来	166	2) 結果	182
2) 材料生物の生育と増殖に対する温度の影響調査	167	3) 考察	185
3) 無機態窒素生成に対する温度と線虫種の影響試験	167	V 総合考察	188
3. 結果	168	引用文献	190
1) 生物の生育と増殖に対する温度の影響	168	Summary	196

## 緒論

線虫は線形動物門 (Pylum Nematoda) に属し、海洋、陸水及び土壤に幅広く生息する動物である。海底や陸上で自由生活をする種は 1 m<sup>2</sup> 当たり 100 万頭生息すると言われ、自由生活性と寄生性を加えた種数は 1 億を越えると予想されている。線虫は、昆虫と異なり脚、翅、循環器等の器官を持たず、体を構成する細胞数も少ないが、神経、腸、筋肉等高等動物と同様の器官は有するため、生理学や遺伝学、発生学等のモデル生物として利用されてきた。その中で最も有名なものは、土壤に生息する細菌食性線虫

の *Caenorhabditis elegans* である。この線虫は体長 1 mm と小型で、多数の系統を小さいスペースで維持できることや増殖が非常に速いこと等、室内実験に有利な条件を備えるため、卵から成虫に至るまでの細胞系譜がすべて追跡され、ゲノムの全塩基配列が解読される等、基礎生物学の様々な分野で利用されている。この線虫を初めて研究に利用した Brenner, Horvitz 及び Sulston 博士らは、2002 年度のノーベル賞医学生理学賞を受賞した (三輪 2003)。

一方、全線虫種の 25 % を占める (白山 2003) 寄生性線虫については、動植物を加害する有害動物として、農学、医学、獣医学の分野でそれぞれ研

究が進められている。人畜に寄生する線虫には、糞線虫 (*Strongyloides* 属), 反芻動物の胃虫 (*Haemonchus* 属), 腸結節虫 (*Oesophagostomum* 属), 鉤虫 (*Ancylostoma* 属), 肺虫 (*Dictyocaulus* 属), 住血線虫 (*Angiostrongylus* 属), 回虫 (*Ascaris* 属), 盲腸虫 (*Heterakis* 属), 蟯虫 (*Oxyuris* 属), 食道虫 (*Gongylonema* 属), 糸状虫 (*Filaria* 属) 等多数が挙げられ, 畜産学や医学では重要な研究対象になっている (城間・佐藤 1997, 石井 1998)。

農作物等の植物で特に問題になるのは Tylenchida 目に属するネコブセンチュウ (*Meloidogyne* 属), シストセンチュウ (*Heterodera*, *Globodera* 属), ネグサレセンチュウ (*Pratylenchus* 属), イモグサレセンチュウ (*Ditylenchus* 属) 等である (水久保 2003)。ネコブセンチュウは幼虫が植物根に侵入し, 植物細胞を変成させながら成長し成虫になる。線虫に多数寄生された植物根は瘤状に膨れ, 生育が遅れ, 極端な場合は枯死する。宿主範囲が広く, 特に, トマト, キュウリ, ナス, ニンジン, サツマイモ等での被害が大きい (水久保 2003), マメ科植物にも寄生し, 土壤中の線虫密度が高いと収量が低下する (岡田 1996a)。シストセンチュウはネコブセンチュウと異なり宿主範囲が狭く, *Heterodera* 属線虫はマメ科, *Globodera* 属線虫はナス科に限定される。しかし, 卵を内蔵した雌成虫の体そのまま耐久性のあるシストとなって土壤中に長く生存するため, 一度発生すると防除困難で, 激発圃場では収穫皆無となる (水久保 2003)。ネグサレセンチュウは前二者と異なり, 幼虫と成虫がともに植物根内部で移動しながら加害し, 宿主範囲は広い。特に, ダイコン等の根菜類で外見上の商品価値を落とす。

一方, 寄生性線虫には害虫に寄生する有益な線虫もいる。昆虫病原性線虫 (Rhabditida 目の *Steinernema* 及び *Heterorhabditis* 属) は体内に共生細菌を持ち, 宿主昆虫体内に侵入後, これら細菌を放出, 増殖させて宿主をすみやかに殺す (石橋 1992)。*Steinernema* 属線虫は, 宿主範囲が比較的広くかつ 1 週間以内に寄主昆虫を殺せること, 人工的な大量培養が可能であることから, 農業害虫に対する生物的防除資材として世界各国で盛んに研究され, 一部の種はすでに生物農薬として市販, 利用されている。Tylenchida 目線虫には共生細菌を持たない昆虫寄生性線虫が存在するが, 宿主昆虫の発育遅延や蔵卵数の低下をもたらすもの (岡田 1995a, 1996b),

宿主昆虫を直ちに殺すことは少なく, また, 線虫の大量培養が困難なため, 生物的防除資材としての実用化には至っていない。

このように動植物に寄生する線虫も多数存在するが, 土壤中に生息する線虫の多くは自由生活性で, 特に, 糸状菌食性や細菌食性等, 低次の栄養段階において微生物を食べる種が多い (Freckman 1982)。農耕地や森林の土壤生態系では, 植物有機物の分解で発生する養分やエネルギーが食物網の中の各栄養段階を通じて循環, 消費されていく。その中で, 微生物食性の線虫は, 有機物分解に直接関わる糸状菌や細菌を摂食し, 余分な窒素等を排出する (Ferris *et al.* 1997, Ingham *et al.* 1985, Trofymow・Coleman 1982)。また, 摂食を通じて微生物の増殖を刺激したり, 微生物の細胞や胞子を体表に付着して未分解の有機物へ運搬する等の作用で有機物分解を促進し, 養分の流れに大きく関与するといわれる (Freckman 1982)。例えば, 米国の草原において, 土壤中の無機態窒素の生成量全体への寄与率を各生物群毎に調べた研究では, 動物の中では細菌食性線虫が原生動物と並んで大きいことが示された (Hunt *et al.* 1987, Ingham *et al.* 1989)。糸状菌食性線虫の寄与率は細菌食性線虫より小さかったが, 有機物の種類によっては, 線虫の働きで生成する窒素量が大きくなる可能性が実験的に示されている (Chen・Ferris 1999)。このことは, 自然の土壤生態系の機能や働きを理解し, その保全のために役立つのみでなく, 有機物分解に関与する生物相の適正な管理により土壤養分の循環を制御し, 化学肥料への依存を減らした持続的農業栽培の実現のためにも重要である。そのため, 欧米を中心に, こうした線虫の生理生態について基礎研究が行われている。特に, 有機物の種類や C/N 比, 分解に関わる糸状菌の種類, 温度等の影響を調べ, どのような環境条件の下で線虫による無機態窒素 (多くはアンモニア) の生成 (実際には過剰窒素の排出) が最大になるかを明らかにしようとしている (Ferris *et al.* 1998, Chen・Ferris 1999, 2000, Huixin *et al.* 2001)。さらに, 一部の種類の糸状菌食性の線虫は, 口針を菌糸細胞に突き刺し, 細胞内容物を吸収することで菌糸を殺すため, 土壤中の植物病原性の糸状菌の密度を直接減らし, 野菜類での糸状菌病の発生を抑制する生物防除資材として, 化学農薬への依存を減らした農業に貢献すると期待されている (崔ら 1988)。

一方、土壤線虫全般は次のような特徴を持つため、欧米では1990年代以降、土壤環境評価の生物指標として線虫を利用する研究が盛んに行われている(岡田 2005)。

1. 多細胞動物のモデルとして医学、理学研究で利用され、遺伝子発現や細胞系譜の情報が豊富である。
2. どのようなタイプの土壤にも高密度で生息する。
3. 土壤中の水孔に生息し、環境ホルモンを含め水溶性の化学物質に反応しやすい。
4. 土壤からの抽出が容易である。
5. 分類群(科や属等)により生理生態学的特性が多様で、ある群は農耕地から森林にまで生息するが、他の群は森林にしか生息しない等、群ごとに生息可能な環境の範囲が異なる。
6. 細菌食、糸状菌食、肉食、雑食、植物食性等、分類群ごとに食性(餌のタイプ)が異なり、各科が土壤食物網の下位(有機物分解に関わる微生物を食べる位置)から上位(他の動物を食べる位置)に渡って存在する。また、食性の判定が形態的特徴から可能である。

群集レベルで指標とする場合は、線虫の各科を食性及び生活史特性によって機能群(functional guild)に振り分け、その出現頻度を推定する作業が不可欠である(岡田 2005)。しかし、分類群によっては振り分けに必要な、生理生態的性質に関する情報が不足している(Okada *et al.* 2005a)。その中では特に、Tylenchida 目の Tylenchidae 科の線虫を糸状菌食性として扱うか否かが大きな問題とされている(Bongers・Bongers 1998)。この科の線虫は微細な口針を持つことから、植物根毛と糸状菌菌糸の両方を摂食すると推定されていた。しかしながら、実際に糸状菌を餌に用いて培養に成功した例が世界的にもなく、そのため、糸状菌食性線虫ではなく植物食性線虫とされ、自由生活性線虫の種構成に基づき土壤生態系の攪乱程度等を推定する群集指数の計算から除外されていた(Bongers 1990, Ferris *et al.* 2004)。一方、一部の線虫種で断片的に糸状菌食性が観察されていることから、こうした群集指数に Tylenchidae 科を含めるよう主張する研究者も多く(Forge・Simard 2001, McSorley・Frederick 2004, Okada *et al.* 2004, Wang *et al.* 2004)、本科の糸状菌食性について検討することが線虫群集研究にとっ

て重要な課題になっていた。

このように、農学や環境科学のための糸状菌食性線虫の生態学的研究が不可欠であるが、実際の研究は一部の種を除いて進んでいない。そこで、本研究ではまず、農業への直接の貢献を目指し、糸状菌食性が知られている Aphelenchida 目の線虫を利用した野菜類の苗立枯病の発生抑制を試みた(Ⅱ)。線虫の増殖率が高い糸状菌ほど、その菌による病害を抑制できる可能性が高いと考え、Aphelenchida 目の2種、ニセネグサレセンチュウ(*Aphelenchus avenae*)と *Aphelenchoides* 属の未記載種の線虫の増殖に、餌としての植物病原性糸状菌の種類が及ぼす影響をまず明らかにした。次いで、病害防除資材としてすでに実績のあるニセネグサレセンチュウ(崔ら 1988)について、採集地を異にする線虫系統の間での増殖率を比較した。その結果に基づき、増殖率が最も高い系統を選抜した。そして、病原性糸状菌の汚染土壌を作製し、選抜した線虫を接種し、植物を生育させ、そこでの病害の発生を実際に抑制できるかポットレベルで検証した。

次に、窒素循環の仕組みを理解し、土壤生態学へ貢献することを目指し、有機物分解に関わる糸状菌の菌糸生育やそれを摂食する Aphelenchida 目線虫の増殖に及ぼす温度の影響を調べた(Ⅲ)。その後、これら生物による無機態窒素の生成への温度の影響を、筒状のカラムを用いたマイクロコスム実験で調べた。

最後に、今まで糸状菌食性が証明されていなかった Tylenchidae 科の中で、世界中に分布し、各種土壤環境によく出現する *Filenchus* 属の線虫について、糸状菌を餌に用いた培養を試み、糸状菌食性を証明した(Ⅳ)。そして、線虫の増殖率や体サイズ、性比への影響を明らかにすることで、線虫の餌としての各種糸状菌の好適性を明らかにした。そのことと、ニセネグサレセンチュウとの比較を通じて、糸状菌食性線虫としての *Filenchus* 属の生態学的特徴を明らかにした。さらに、日本各地から採集した3種6系統の *Filenchus* 属線虫について、寒天培地に加え、土壤を材料にした培地での糸状菌による培養を試み、*Filenchus* 属線虫における糸状菌食性の一般性、線虫の群集生態学及び植物寄生性線虫の進化におけるその重要性について議論した。最後に、今回得られた知見に基づき、糸状菌食性線虫の農業現場での活用法、土壤中の物質循環や線虫群集研究に

における糸状菌食性線虫の生態研究の意義について総合的に論じた (V)。

本研究はすでに論文等の形で公表されているが (岡田 1995b, Okada 1995, Okada and Ferris 2001, Okada *et al.* 2002, 岡田 2002, Okada and Kadota 2003, Okada *et al.* 2005b), 未発表のデータを追加して上記のようにとりまとめた。

本研究の発案及び遂行は著書自身によるものであるが、実施にあたり多くの方々に御助言や御支援いただいた。昆虫学から線虫学への転向のきっかけを与えていただいた清水啓博士、植物病理学の観点から御助言いただいた野村良邦博士と門田育生博士、土壤動物学の観点から御助言するとともに海外留学を勧めてくださった中村好男博士、実験準備等を手伝っていただいた原田啓基氏、研究の実施にあたり様々な便宜を図っていただいた総務部福島分室及び業務科の方々等、著者が所属した農林水産省東北農業試験場 (現独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構 東北農業研究センター) の関係者の方々にお礼申し上げます。また、線虫の生理、生態及び分類学的観点から御助言いただいた佐賀大学名誉教授の石橋信義博士、九州沖縄農業研究センターの皆川望博士、中央農業総合研究センターの水久保隆之博士、オランダ Wageningen University の Tom Bongers 博士、実験に使用した糸状菌種の同定をしていただいた花き研究所の月星隆雄博士、線虫の同定に御協力いただいたベルギー Ghent University の Etienne Geraert 及び Wim Bert の両博士、線虫の採集に御協力いただいた福島県農業試験場及び青森県農業試験場の方々にお礼申し上げます。さらに、米国滞在時の研究及び論文作成で御助言いただいた University of California, Davis 校の Howard Ferris 博士と Carl Chen 博士をはじめ Department of Nematology の諸氏、公表論文の作成で御助言をいただいたニュージーランドの Land Care Research の Gregor Yeates 博士、米国の University of Vermont の Deborah Neher 博士及びチェコ共和国の Institute of Soil Biology の Ladislav Háněl 博士にもお礼申し上げます。最後に、本論文の完成に向けて御助言及び御指導いただいた岡山大学の中筋房夫教授、積木久明教授、宮竹貴久助教授及び、研究報告への投稿に当たり御校閲いただいた東北農業研究センター畑地利用部長の新田恒雄博士にお礼申し上げます。

なお、本研究のうち、線虫の無機態窒素生成作用

に関する研究は、旧科学技術庁の長期在外研究員制度によって、University of California, Davis 校線虫学科に 1998 年から 2000 年にかけて客員研究員として滞在している間に行った。

## 糸状菌食性 Aphelenchida 目線虫の増殖と植物病害抑制への利用

### 1. 緒 言

糸状菌食性線虫のうち Aphelenchida 目の線虫は、一般に植物病原性の糸状菌を摂食した場合に増殖率が高いことから、こうした菌が引き起こす植物病害に対する防除資材として期待され、研究されてきた (崔ら 1988)。線虫の増殖率が高い植物病原菌ほど、線虫による防除の可能性が高いため、各種病原菌について、線虫による選好性や線虫の増殖性が検討されてきた。また、線虫の増殖性は、糸状菌の種類のみでなく、線虫の種類や地域系統によっても大きく異なる (Choi・Ishibashi 1989, Pillai・Taylor 1967b)。従って、ある種 (系統) の線虫を病害防除に使用する場合、対象病原糸状菌での増殖性を事前に把握しておく必要がある。本章では、福島県福島市で採取したニセネグサレセンチュウと *Aphelenchoides* 属の未記載種 (*Aphelenchoides* sp.) による病害抑制の可能性を検討するため、これら線虫について、*Pythium*, *Fusarium*, *Botrytis* 及び *Rhizoctonia* 属の植物病原糸状菌を餌として与えた時の増殖性を調査した。また、病害防除資材としての実績が多いニセネグサレセンチュウについては、同じ餌糸状菌種での増殖性が線虫の地域系統によって異なることが知られている (Choi・Ishibashi 1989)。特に *Pythium* 属菌に対する違いは極端で、アメリカ産及び九州産の系統がほとんど増殖しないのに対し (Mankau・Mankau 1963, Ali *et al.* 1999), 著者が予備試験を行ったところ、福島県産の系統は非常に良く増殖した。そこで、ニセネグサレセンチュウについて、福島市採取の系統の他、東北地方の 3 カ所で採取した系統についても、*Pythium*, *Fusarium* 及び *Rhizoctonia* 属の植物病原糸状菌を摂食させて増殖特性を比較した。

以上の試験で線虫増殖率が高かった線虫種 (系統) と糸状菌種との組合せについて、その糸状菌による植物病害の発生を、線虫の接種により実際に抑制できるか検討するため、ポットを用いた試験を行った。

なお、*Filenchus misellus* (線虫)、*Fusarium oxysporum* (糸状菌) というように、同じ英文字で始まる生物学名が複数あるので、本稿では文頭の場合も含め、初出以降は *Fi. misellus*, *Fu. oxysporum* 等と表記した。

## 2. ニセネグサレセンチュウと *Aphelenchoides* 属線虫の増殖に及ぼす植物病原菌種の影響

### 1) 材料と方法

福島県福島市のコンニャク (*Amorphophallus konjac*) 畑の土壌から採集した線虫を用いた。ニセネグサレセンチュウは単為生殖性の雌1頭から、*Aphelenchoides* sp. は1対の雌雄成虫から確立した系統を用いた。野菜の苗に立枯れを引き起こす病原菌の1種 *Rhizoctonia solani* AG-4, IIIA (MAFF305225) を餌にして試験に用いる線虫を培養した。供試菌として *Rh. solani* の他に、多種の野菜に苗立ち枯れを起こす *Pythium ultimum* (MAFF305637)、ダイコン萎黄病菌 *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani* (MAFF305123) 及び *Botrytis cinerea* (東北農業試験場畑病虫害研究室より提供) を用いた。このうち *Bo. cinerea* は土壌伝染性ではないが、糸状菌食性線虫の培養に適した菌としてよく使われるため、本試験に供試した。

各線虫種についての試験は別々に行った。試験用の糸状菌菌叢を用意するため、糸状菌培養用の PDA (Potato Dextrose Agar) 10ml を分注した直径9cm のガラスシャーレに上記4種の菌を別々に接種した。これらを、菌叢がシャーレ全体を覆うまで25℃で培養した。次に、線虫をベールマン装置で抽出し、殺菌剤の0.5%ヒビテン (Hibitane®) に15分間、次いで1000ppm 硫酸ストレプトマイシンに15分間浸漬して表面殺菌した。これらの操作によって得たニセネグサレセンチュウの雌成虫20頭、または *Aphelenchoides* sp. の雌雄各10頭を、糸状菌菌叢が全面を覆ったシャーレ1枚に各々接種した。線虫種と糸状菌種との各組み合わせにつき5個の反復を設けた。線虫接種後、シャーレを25℃、24時間暗黒の条件下に置いた。20日後、培地をベールマン漏斗に移し、4日間25℃において線虫を抽出し、シャーレごとに線虫個体数を調査し増殖率を計算した。

線虫を土壌や培地、植物組織等から抽出する方法は、生きた線虫の運動性を利用する方法と、運動性を利用せず、物理的に土壌粒子と線虫とを分離する

方法の二つに大きく分けられる。前者にはベールマン法、後者にはふるい分け法や遠心法等がある (佐野 2004)。ベールマン法で用いる抽出装置は単純な構造で、ゴム管でガラス管ビンに連結した漏斗に水を入れ、キムワイパーやティッシュペーパーを敷いた網皿を上に乗せただけのものである。ワイパーの上に土壌を載せ、それに完全に浸透するまで水を追加し、適温で1-3日おくと線虫が自力で水中へ泳ぎだし、下方にあるガラス管ビンに沈殿する。この方法はふるい分け法や遠心法に比べ、かかる労力が非常に少なくすみ、多数の土壌サンプルを処理するのに効率的である。しかし、土壌の種類によっては線虫の抽出効率が非常に低く、また、漏斗の傾斜部に線虫が停留して管ビンに回収されないこともある。さらに、線虫分類群の中には運動がもともと非常に緩慢だったり、体表面に微小突起があるために土壌粒子間での移動が遅いものがあり、運動が活発で突起を持たない分類群に比べ、ベールマン法での抽出率が非常に低い。このような欠点があるものの、糸状菌食性線虫等運動が活発な線虫を、同じタイプの土壌や培地から抽出する場合には効率的な抽出方法であるため、本研究全般で線虫の個体数調査にベールマン法を用いた。

線虫の増殖率は  $R = P_f / P_i$  ( $P_f$  は接種20日後の個体数、 $P_i$  は接種頭数でニセネグサレセンチュウ、*Aphelenchoides* sp. とも20頭) として算出した。分散を等しくするために増殖率のデータを対数変換した後、それに対する餌糸状菌の種類の影響を分散分析し、有意な場合は Tukey 法で増殖率を比較した。ただし、対数変換しても分散が等しくならない場合は、ノンパラメトリックの Kruskal-Wallis の検定で餌糸状菌種の影響を分析し、影響が有意な場合は Steel-Dwass 法で増殖率の比較を行った。

### 2) 結果と考察

ニセネグサレセンチュウの場合は分散分析と Tukey 法で、*Aphelenchoides* sp. の場合は Kruskal-Wallis 法と Steel-Dwass 法で増殖率に対する糸状菌種の影響を分析した。いずれの線虫種でも増殖率に対する餌糸状菌種の影響が有意で (ニセネグサレは ANOVA で  $P < 0.001$ , *Aphelenchoides* sp. は Kruskal-Wallis 検定で  $P < 0.001$ )、増殖率は餌糸状菌の種類によって各々大きく異なった (図1)。

ニセネグサレセンチュウの増殖率は、*Py. ultimum* や *Rh. solani* を摂食した場合の方が、*Bo. cinerea*

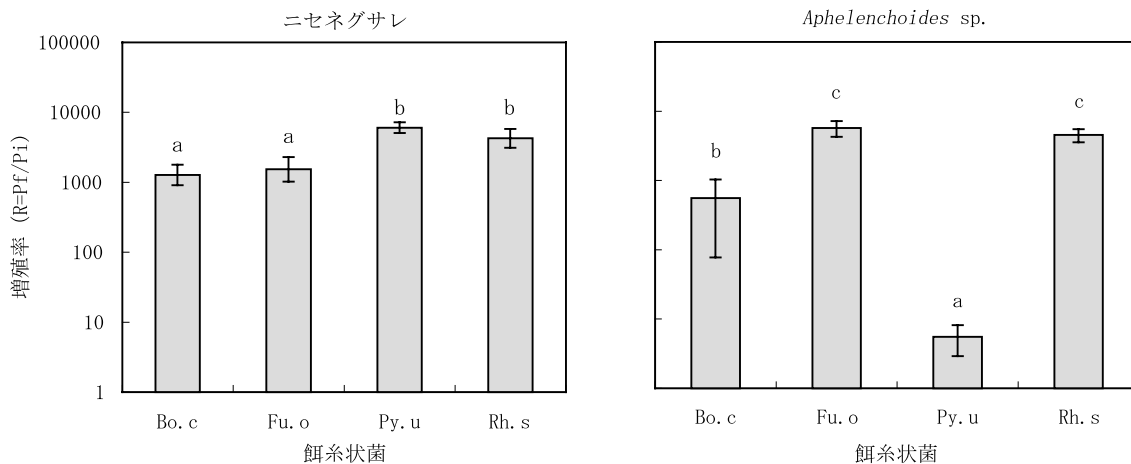


図1 4種類の糸状菌を摂食したときのニセネグサレセンチュウと *Aphelenchoides* sp.の増殖率

シャーレ当たり線虫20頭を接種し、25°Cで20日間培養後、シャーレごとに抽出した線虫頭数を接種頭数で割って算出。糸状菌のBo. c, Fu. o, Py. u, Rh. sは各々*Bo. cinerea*, *Fu. oxysporum*, *Py. ultimum*, *Rh. solani*を示す。グラフ中の縦棒は、95%信頼区間を示す。同一英文字の値にはTukey法（ニセネグサレセンチュウ）またはSteel-Dwass法（*Aphelenchoides* sp.）で有意差がない( $P>0.05$ )。

や *Fu. oxysporum* の場合より有意に高くなった (Tukey 検定,  $P<0.05$ )。 *Pythium* 属菌上でのニセネグサレセンチュウの増殖については、研究者間で結果が著しく異なる。米国のある系統の線虫は *Py. ultimum* と *Py. irregulare* ではまったく増殖しなかったが (Mankau・Mankau 1963, Pillai・Taylor 1967b), *Py. arrhenomanes* では良く増殖し、この糸状菌が起こすトウモロコシの根腐病をこの線虫で防除可能であった (Rhoades・Linford 1959)。このような、 *Pythium* 属菌の種間での同一線虫系統の増殖率の違いや、米国の線虫系統と本研究の系統と間の *Py. ultimum* 上での増殖の有無の違いが、どのような原因によるのかは不明である。しかし、今回の試験に用いたニセネグサレセンチュウの系統は、 *Pythium* 属菌が起こす植物病害、少なくとも *Py. ultimum* が起こすものに対しては、生物防除資材としての効果が期待される。また、 *Rh. solani* もニセネグサレセンチュウにとって好適な餌であった。そこで、 *Py. ultimum* 及び *Rh. solani* が起こす病害について、この線虫による抑制効果を検討した (「4 糸状菌性植物病害に対するニセネグサレセンチュウの発病抑制効果」に記載)。

*Aphelenchoides* sp.では、餌としての供試糸状菌の好適性がニセネグサレセンチュウの場合と異なった。つまり、 *Aphelenchoides* sp.の増殖に最も適した糸状菌は *Fu. oxysporum* f. sp. *raphani* 及び *Rh.*

*solani* で、 *Bo. cinerea* や *Py. ultimum* より線虫増殖率が有意に高かった (Steel-Dwass 検定,  $P<0.05$ )。このことから、 *Fusarium* 属菌と *Rhizoctonia* 属菌が起こす病害に対する *Aphelenchoides* sp.の抑制効果も検討すべきと考えられるが、 *Aphelenchoides* 属の線虫は、 *Aphelenchus* 属のそれと異なり、植物の地上部に加害する種がいるので (Evans *et al.* 1993)、当該線虫の病害抑制への利用に際して注意が必要である。

### 3. 土壌病原性糸状菌3種5株を摂食した東北地方のニセネグサレセンチュウ4系統の増殖

#### 1) 材料と方法

ニセネグサレセンチュウの系統間での増殖性を比較するため、福島県会津坂下町、郡山市及び青森県黒石市で採集し、単為生殖性の雌1頭から作製した線虫系統 (以下、会津、郡山、黒石系統) に加え、2で用いた福島市採取の線虫系統 (以下、福島系統) について増殖率を調査した。線虫の餌としては、2で用いた *Rh. solani* 及び *Py. ultimum* に加え、 *Fu. oxysporum* の3菌株 (ネギ萎凋病菌, *Fu. oxysporum* f. sp. *cepae*; キュウリつる割病菌, *Fu. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*; トマト萎凋病菌, *Fu. oxysporum* f. sp. *lycopersici*, いずれも東北農業試験場畑病虫害研究室より提供) の計3種5菌株を用いた。各菌株について個別に試験を行い、線虫4系統の間の増殖率を比較した。糸状菌菌叢を2の場合と同様に

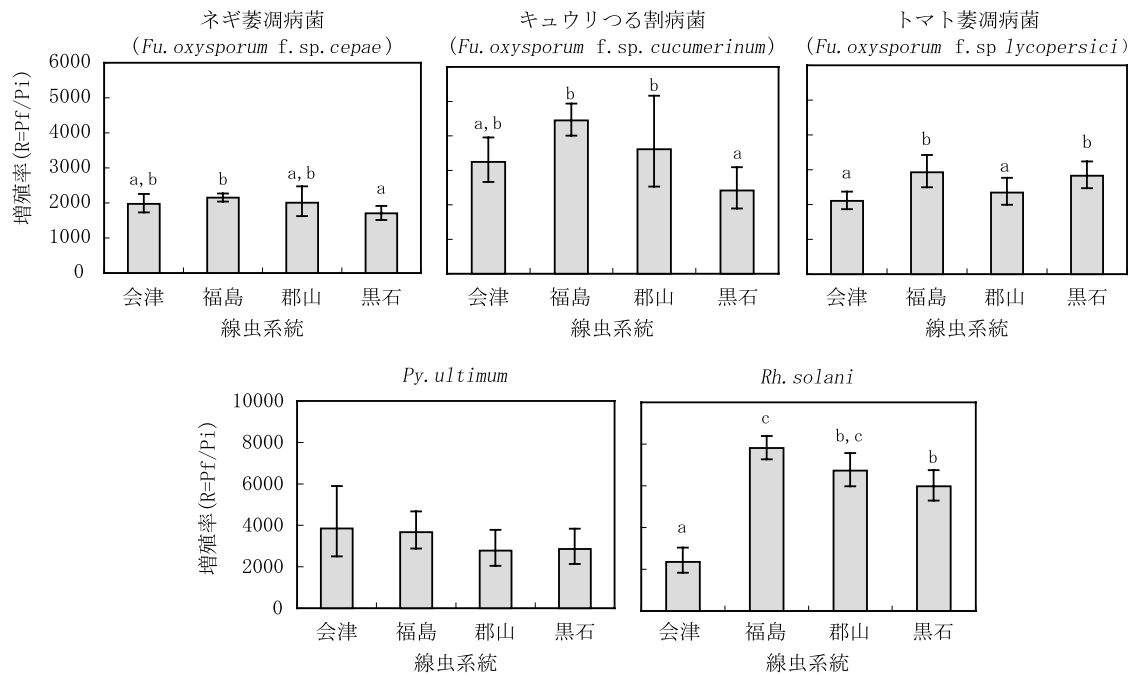


図2 5種類の糸状菌各々における線虫系統の増殖率の違い

会津、福島、郡山、黒石は各々福島県会津坂下町、福島市、郡山市、青森県黒石市で採集された線虫系統を示す。増殖率は、シャーレ当たり線虫20頭を接種し、25℃で20日間培養後、シャーレごとに抽出した線虫頭数を接種頭数で割って算出。グラフ中の縦棒は95%信頼区間を示す。同じ糸状菌の中の同一英文字の値にはTukey法で有意差がない( $P>0.05$ )。

PDA上に生育させ、*Rh. solani*で事前に培養した線虫を表面殺菌し、菌が生育したシャーレにいずれかの線虫系統の雌成虫20頭を接種した。各系統につき5反復を設定した。線虫接種後、シャーレを25℃、24時間暗黒の条件に置いた。20日後、2と同様の方法で線虫を抽出して増殖率を算出した。増殖率のデータを対数変換した後、それに対する線虫系統の影響をANOVAで分析し、有意な場合はTukey法で増殖率を比較した。

## 2) 結果と考察

*Py. ultimum*では増殖率に対する線虫系統の影響は有意でなく( $P=0.1493$ )、増殖率は系統によらずほぼ同じであった(図2)。他の糸状菌では、増殖率に対する線虫系統の影響は有意で( $P<0.05$ )、増殖率は系統間で異なった。*Fu. oxysporum*の3系統を餌にした場合は、有意でない場合があるものの、総じて福島系統の線虫が他の系統より増殖率が高く、逆に黒石系統は、トマト萎凋病菌(*Fu. oxysporum* f. sp. *lycopersici*)の場合を除き低かった(図2)。*Rh. solani*でも福島系統の増殖率が最高で、逆に会津系統が最低であった。供試した糸状菌3種5株を通して、福島系統の線虫が他の系統より増殖

率が高い傾向があった。

植物寄生性線虫の場合、同じ植物種を餌にした場合の増殖率が線虫種内の系統(レース)によって顕著に異なることが知られている。例えば、ダイズシストセンチュウ(*Heterodera glycines*)ではダイズ品種(判別寄主)における増殖率を異にするレースが世界全体で12確認されている(相場2003)。ネコブセンチュウは一般にシストセンチュウに比べて寄主範囲が広いが、サツマイモネコブセンチュウ(*Meloidogyne incognita*)でも、植物種(判別寄主)における増殖率が異なる4レースが国際的に識別され、線虫防除を考える上で重要なポイントになっている(相場2003)。同じ餌条件での増殖率が線虫種内の系統で異なることは、糸状菌食性線虫のニセネグサレセンチュウでも知られている。例えば、Choi・Ishibashi(1989)は、九州地方で採取した線虫5系統の増殖率を3種の糸状菌(*Rh. solani*, *Fu. oxysporum*, *Bo. cinerea*)を与えて比較し、どの菌でも鹿児島系統の線虫が他の系統より増殖率が高かったと述べている。Choi・Ishibashi(1989)はまた、5系統の線虫の増殖率の順位は餌とした糸状菌の種類によらず不変であるため、増殖率の違いは糸

状菌種の違いではなく、線虫各系統の潜在的な増殖率の違いによると結論した。本研究では、東北地方で採取したニセネグサレセンチュウの4系統について調査し、やはり線虫系統間での増殖率の違いが見られた。しかし、例えば、キュウリつる割病菌 (*Fu. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*) では福島系統に比べ増殖率が有意に低く、4系統中最低だった黒石系統の線虫が、トマト萎凋病菌 (*Fu. oxysporum* f. sp. *lycopersici*) では福島系統とならび他より増殖率が高くなる等、系統間の順位に糸状菌種を通じた一貫性はなかった。従って、増殖率の系統間の違いは、各系統が有する潜在的な増殖率の違いに加え、供試糸状菌の、餌としての好適性が各線虫系統で異なることが原因と考えられる。試験した線虫4系統の中では福島系統が総じて増殖率が高いので、餌として供試した糸状菌による植物病害の抑制に用いるには、この系統が最適と考えられる。

#### 4. 糸状菌性植物病害に対するニセネグサレセンチュウの発病抑制効果

##### 1) 材料と方法

2及び3の試験の結果、野菜類に対する病原性糸状菌である *Pythium*, *Fusarium* 及び *Rhizoctonia* 属の菌で増殖率が高かった福島系統のニセネグサレセンチュウについて、これら3菌によって引き起こされる病害に対する発病抑制試験をポットレベルで行った。また、*Rhizoctonia* 属の菌については、比較のため、会津及び郡山系統の線虫についても発病抑制効果を検討した。供試野菜として、*Rhizoctonia* 属に対してはカリフラワー (*Brassica oleracea* var. *botrytis*), *Pythium* 属にはハウレンソウ (*Spinacia oleracea* L.), *Fusarium* 属菌にはキュウリ (*Cucumis sativus* L.) を用いた。

##### (1) *Rh. solani* によるカリフラワーの苗立枯病に対する効果

*Rh. solani* を餌に PDA 培地上で培養した福島系統の線虫を供試した。また、*Rh. solani* で汚染された試験土壌を作製した。常法 (大畑 1995) により、菌をフスマに接種し、25℃で17日間培養して汚染源とした。そのフスマを体積比5%で滅菌した黒ボク土壌に混入し、菌汚染土壌を作製した (1994年8月16日)。それを500mlのプラスチックポットに200ml入れて菌汚染区とした。同様にして菌汚染土を入れ、直後に、培地から抽出した線虫10万頭をポットに接種して菌・線虫区とした。一方、菌

を入れない滅菌黒ボク土を入れたポットを滅菌区とした。また、餌の糸状菌がない場合に線虫が植物を摂食して生育を阻害するか検討するため、滅菌土壌を入れたポットに線虫10万頭を接種したものを線虫区とした。各試験区5反復とした。線虫接種8日後にカリフラワー (タキイ、スノーキング) の催芽種子を1ポットに5個播種し、自然日長、温度のガラス室内におき、必要に応じて灌水した。線虫接種18日後に出芽前立ち枯れによる未出芽の株数を、26日後に発病株数 (未出芽株数、萎凋株数及び萎縮株数の合計とした) を調査した。未出芽株数及び発病株数を処理区間で比較した。互いにデータの分散が異なる区があったため、Kruskal-Wallisの検定を行い、Steel-Dwass法で平均値の比較を行った。

会津及び郡山系統の線虫を用いた試験でも、福島系統の場合と同様にして菌汚染土壌、滅菌土壌を用意した (1998年6月4日)。2系統の試験を同時に行うため、菌汚染区、菌・線虫区 (会津)、菌・線虫区 (郡山)、線虫区 (会津)、線虫区 (郡山)、滅菌区の6試験区を作り、反復を各5とした。結果の項で述べるとおり、線虫区では線虫の加害によると考えられる植物体の萎縮が見られたが、糸状菌による病害症状と外見上区別困難だったので、これらの症状及び未出芽や萎凋症状を示した株を「生育阻害株」として、線虫接種28日後にその株数を調査した。

##### (2) *Fu. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* によるキュウリのつる割病に対する効果

*Rh. solani* の場合と同様に菌汚染源の調整及び、それを用いた試験区の作製を行った (1997年6月3日)。線虫は福島系統を用いた。ただし、準備できる線虫個体数に限りがあったので、線虫区を除く3処理区 (菌汚染、菌・線虫及び滅菌区) のみとし、反復数は各5個とした。線虫接種後は25℃、暗黒条件下にポットを置いた。8日後に子葉展開期のキュウリ苗 (タキイ、ときわ地這) を1ポット3株ずつ定植し、自然日長及び温度のガラス室内におき、必要に応じて灌水した。つる割病が発生した幼苗は萎凋症状を示すので、その症状が出た株を「発病株」とし、その数を線虫接種28日後に調査した。

##### (3) *Py. ultimum* によるハウレンソウの苗立ち枯れに対する効果

一谷 (1995) の方法により、菌をベントグラス種子に接種し、25℃で4日間培養したものを菌汚染源とした。その種子を重量比0.5%の割合で滅菌黒



ボク土に混入して菌汚染土を作成した。それをうい *Fu. oxysporum* の場合と同様にして菌汚染区、菌・線虫区及び滅菌区を作製した(1994年10月12日)。各処理区5反復とした。線虫接種20日後に全ポットにハウレンソウ(サカタのタネ, オリオン)の種子を3個ずつ播種した。病害の発生を促すため、実験期間中ポットにビニール袋をかぶせ、25℃の過湿状態におき、日長は14時間明期-10時間暗期とした。線虫接種40日後に発病株数(未出芽株と萎凋株数の合計)を試験区間で比較した。

## 2) 結 果

### (1) *Rh. solani* によるカリフラワーの苗立枯病に対する効果

福島系統の試験では、カリフラワーの播種直前に試験ポットを観察すると、菌汚染区では地表に *Rh. solani* の大型の白色菌叢が多数出現していた(図3)。菌・線虫区でも少数の菌叢が出現していたが、大きさは総じて微小であった。線虫区と滅菌区では菌叢はまったく出現しなかった。カリフラワーを播種した後の未出芽数及び発病株数は、いずれについても処理区間で有意差が認められた(Kruskal-Wallis検定, 各々  $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ )。菌汚染区では、未出芽数と発病株数のいずれも他の処理区より有意に多く(表1, Steel-Dwass検定,  $P < 0.05$ )、出芽前立ち枯れによりほとんどの株が出芽しなかった(図3)。一方、菌・線虫区、線虫区及び滅菌区では、

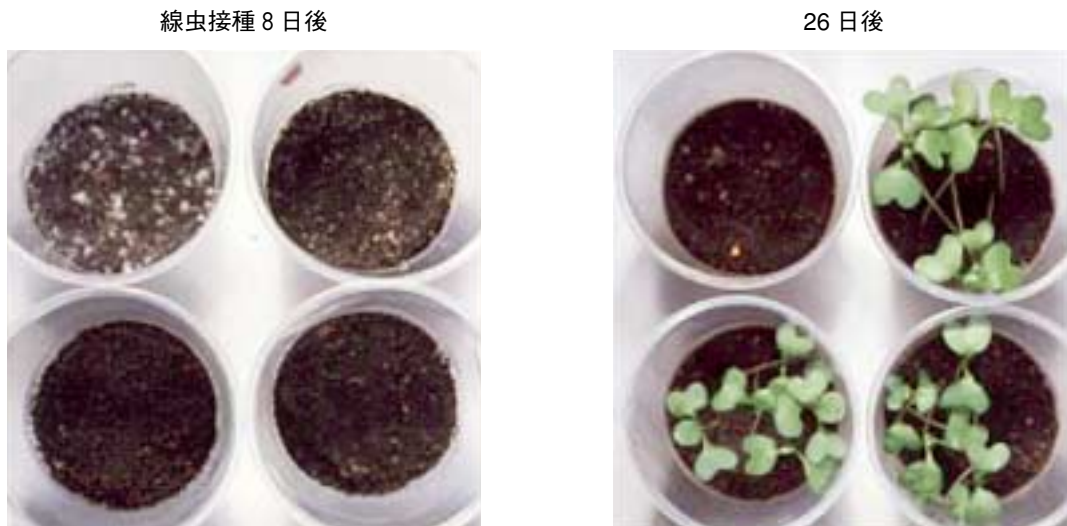


図3 *Rh. solani* によるカリフラワー苗立枯病に対する福島系統のニセネグサレセンチュウの発病抑制効果

左の写真が線虫接種8日、右が26日(播種18日)後。どちらでも、写真内の左上が菌汚染、右上が菌・線虫、左下が線虫、右下が滅菌区。左の写真の菌汚染区と菌・線虫区の地表には *Rh. solani* の白い菌叢が点在する。

表1 *Rh. solani* によるカリフラワーの苗立枯病に対する福島系統のニセネグサレセンチュウの発病抑制効果

処理区 <sup>a)</sup>	未出芽株数 <sup>b)</sup>	発病株数 <sup>c)</sup>
菌汚染	4.4 ± 0.2a	4.4 ± 0.2a
菌・線虫	0.0 ± 0.0b	0.2 ± 0.2b
線虫	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b
滅菌	0.0 ± 0.0b	0.6 ± 0.2b

a) 各5反復。

b) 菌・線虫区、線虫区での線虫接種8日後に全区でポット当たり5粒ずつ播種し、18日後に調査、平均±s.e.で表示。

c) 発病株数は未出芽数、萎凋株数、萎縮株数の合計。線虫接種28日後に調査、平均±s.e.で表示。

注. 同列の同一英文字の平均値にはSteel-Dwassの多重比較で有意差がない ( $P > 0.05$ )。

表2 *Rh. solani* によるカリフラワーの苗立枯病に対する会津および郡山系統のニセネグサレセンチュウの発病抑制効果

処理区 <sup>a)</sup>	未出芽株数 <sup>b)</sup>	生育障害株数 <sup>c)</sup>
菌汚染	5.0 ± 0.0b	5.0 ± 0.0b
菌・線虫(会津)	0.8 ± 0.2a	2.2 ± 0.4a, b
菌・線虫(郡山)	2.4 ± 0.9a, b	2.8 ± 1.0a, b
線虫(会津)	0.0 ± 0.0a	1.2 ± 0.7a, b
線虫(郡山)	0.0 ± 0.0a	0.8 ± 0.2a
滅菌	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a

a) 各5反復。

b) 菌・線虫区、線虫区での線虫接種8日後に全区でポット当たり5粒ずつ播種し、18日後に調査、平均±s.e.で表示。

c) 生育障害株数は、糸状菌による未出芽、萎凋、萎縮株及び線虫による萎縮株数の合計。線虫接種28日後に調査、平均±s.e.で表示。

注. 同列の同一英文字の平均値にはSteel-Dwassの多重比較で有意差がない ( $P > 0.05$ )。

表3 *Fu. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* によるキュウリのつる割病に対するニセネグサレセンチュウ福島系統の抑制効果

処理区 <sup>a)</sup>	発病株数 <sup>b)</sup>
菌汚染	3.0 ± 0.0b
菌・線虫	3.0 ± 0.0b
滅菌	0.0 ± 0.0a

a) 各5反復。

b) 菌・線虫区での線虫接種8日後に全区でポット当たり3株ずつ定植, 28日後に調査, 平均±s.e.で表示。

注. 同列の同一英文字の平均値にはSteel-Dwassの多重比較で有意差がない ( $P>0.05$ )。

表4 *Py. ultimum* によるハウレンソウの苗立枯病に対するニセネグサレセンチュウ福島系統の防除効果

処理区 <sup>a)</sup>	発病株数 <sup>b)</sup>
菌汚染	3.0 ± 0.0b
菌・線虫	3.0 ± 0.0b
滅菌	0.0 ± 0.0a

a) 各5反復。

b) 菌・線虫区での線虫接種20日後に全区でポット当たり3粒ずつ播種, 40日後に調査, 平均±s.e.で表示。

注. 同列の同一英文字の平均値にはSteel-Dwassの多重比較で有意差がない ( $P>0.05$ )。

未出芽株及び発病株がほとんど無く, 播種した種子の多くが健全に出芽, 生育した。

会津及び郡山系統の試験では, 未出芽数及び生育障害株数いずれについても処理区間で有意差が認められた (Kruskal-Wallis 検定, 各々  $P<0.01$ ,  $P<0.01$ )。未出芽数は菌汚染区と菌・線虫区 (郡山) で他の処理区より有意に多かった (表2, Steel-Dwass 検定,  $P<0.05$ )。その後, 菌・線虫区 (会津) と線虫区 (会津) で萎凋や萎縮株が増えたため, この両区, 菌汚染区及び菌・線虫区 (郡山) との間では生育障害株数に有意差が無くなった (Steel-Dwass 検定,  $P>0.05$ )。一方, 線虫区 (郡山) と滅菌区ではほとんど生育障害株がなかった。

### (2) *Fu. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* によるキュウリのつる割病に対する効果

発病株数が試験区間で有意に異なったものの (Kruskal-Wallis 検定,  $P<0.01$  及び Steel-Dwass 検定,  $P<0.05$ ), 菌汚染区と菌・線虫区ではすべての株が発病したことから, 線虫の発病抑制効果は認められなかった (表3)。

### (3) *Py. ultimum* によるハウレンソウの苗立枯れに対する効果

*Rh. solani* の接種によってほとんどの種子が出芽しなかった試験と異なり, どの区でも出芽する種子が多かった。しかし, 菌汚染区と菌・線虫区ではやがて苗立枯れが同程度に発生し, 両試験区間で有意な差がなかったことから (表4, Steel-Dwass 検定,  $P>0.05$ ), 線虫の発病抑制効果は認められなかった。一方, 滅菌区ではまったく発病株がなかった。

### 3) 考 察

*Rh. solani* によるカリフラワーの苗立枯病の発病抑制試験では, 福島系統の線虫の試験, 会津と郡山

系統の試験でも, 菌汚染区では病害の発生が著しく, ほとんどの株が出芽前の立ち枯れを起こし, 出芽しなかった (表1)。菌・線虫区では, 福島系統の線虫は病害発生を良く抑えた。カリフラワーの播種直前の試験ポットの地表を観察したところ, 菌汚染区では *Rh. solani* の大型の白色菌叢が多数出現していたのに対し, 菌・線虫区では少数の小型菌叢の出現にとどまっていたことから (図3), 後者の試験区で立ち枯れの発生が抑えられたのは, 線虫が菌の増殖を抑えたためと考えられる。福島系統のニセネグサレセンチュウは, 追試験でも *Rh. solani* による病害の発生を良く抑えた (岡田, 未発表)。

一方, 会津, 郡山系統の線虫の抑制効果は劣り, カリフラワー5本のうち2, 3本での発病を許した。線虫による植物への加害作用を見るために設けた線虫区では, 福島, 郡山系統の線虫の場合はほとんど加害が認められなかった。しかし, 会津系統の線虫は, カリフラワー5本につき1本程度, 生育を障害した (表2)。

*Fu. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* によるキュウリのつる割病及び *Py. ultimum* によるハウレンソウの苗立枯れに対する福島系統の線虫の発病抑制試験のいずれでも, 菌・線虫区ですべての株が発病し, 線虫による抑制効果はまったく認められなかった (表3, 4)。

崔ら (1988), 石橋 (1993), Klink・Barker (1968) 及び Barker (1964) は, *Rh. solani*, *Fu. oxysporum*, *Pythium* sp. による野菜の苗立枯れに対しニセネグサレセンチュウが優れた防除効果を示したと述べている。一方, 小林・築尾 (1993) は *Fu. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* の汚染土壌を用いた場合, キュウリのつる割病に対するニセネグサレセンチュウの発

病抑制効果は小さく、線虫による病害防除の効果は線虫の処理方法等によって異なると述べている。また、本研究で用いた福島、会津、郡山の線虫系統の間で *Rh. solani* に対する発病抑制効果が異なったことから、線虫による病害抑制効果は用いる線虫系統にも影響されると考えられる。さらに、本研究で明らかのように、対象とする糸状菌種によっても線虫の抑制効果は異なる。本研究では、福島系統の線虫が *Rh. solani* に対して発病抑制効果が高いのに対し、*Fu. oxysporum* や *Py. ultimum* で効果がないことが示された。後二者の菌で効果がなかった原因の1つは、土壤中で線虫による摂食量を上回るほど菌が増殖したためであると考えられるが、その他にも、植物体内への菌の進入経路の特徴も原因と考えられる。つまり、*Fu. oxysporum* や *Py. ultimum* は土壤中に多数広がる根から植物体に侵入する（一谷 1984, 駒田 1984）。一方、*Rh. solani* は土壤中の種子の表皮、根及び茎の地際部から侵入することが知られるが（杉本 1984）、出芽後は主に地際部から侵入するという見解がある（Baker 1970）。*Fu. oxysporum* や *Py. ultimum* 等根から侵入する病原菌の場合、線虫の摂食によって土壤中の菌密度が低下したとしても、残存した菌糸が、多数分岐した植物根のいずれかに入れば病害が発生してしまうであろう。一方、*Rh. solani* の場合、線虫の摂食で土壤中の菌密度を低下させれば、出芽前の植物体や出芽後の植物体地際部へ菌が侵入する機会が減り、発病抑制可能と考えられる。

*Rh. solani* と福島系統のニセネグサレセンチュウとの組合せについては、今後、野菜の種類等試験の条件や規模を変えて、発病抑制効果についてさらに検討すべきである。また、今回の試験では、有機物上で増殖中の菌（菌糸）を汚染源として用いたが、農家圃場の土壤中では、耐久態である菌核の形で *Rh. solani* が存在すると考えられる。さらに、実際の土壤中では、線虫捕食菌や肉食性線虫等ニセネグサレセンチュウの天敵になりうる生物も存在する。このような状況でも本線虫による発病抑制が可能であるか否かの検討が、圃場での実用化に向けて必要である。

崔ら（1988）によると、病原菌を接種しない滅菌土壤中ではニセネグサレセンチュウが植物を摂食し生育阻害を起こす場合がある。実際、本研究でも会津系統がそのような状況で、わずかなが

らもカリフラワーの生育阻害をもたらした（表2）。実際の圃場では、土壤中に何かしら線虫の餌になる菌があるので、線虫による植物への加害は起こらないと期待されるが（崔ら 1988）、線虫散布処理を行った直後には播種しない等の注意をする必要がある。

## 無機態窒素生成に及ぼす線虫種と温度の影響

### 1. 緒言

土壤中の有機物分解や養分循環への土壌糸状菌及びそれを食べる糸状菌食性線虫の関わりを検討するため、これらの生物による窒素の無機化作用が研究されている（Anderson *et al.* 1981, Ingham *et al.* 1985, 岡田 2002, Trofymow・Coleman 1982）。有機物分解系における養分の無機化率は糸状菌や線虫の種類等の生物学的要因や、分解される有機物のC/N比等の化学的要因に影響を受ける（Chen・Ferris 1999, 2000）。また、土壌の温度や水分量にも影響される。これは、土壌生物の代謝、成長、繁殖等の活動がこうした要因に影響されるからである（Adams *et al.* 1982, Fujie *et al.* 1996, Stanton・Sartori 1990, Yeates 1996, Young *et al.* 1998）。従って、有機物分解の過程での、土壌糸状菌や糸状菌食性線虫の働きによる養分の無機化に対する温度等物理的要因の影響を知ることは、土壤中の物質循環におけるこうした生物の作用を評価するために必要である。本研究では、糸状菌2種、*Rh. solani* と *Bo. cinerea* の菌糸生育速度及び、これらの菌を摂食する線虫2種、ニセネグサレセンチュウと *Aphelenchoides composticola* の増殖速度に対する温度の影響を明らかにしようと試みた。さらに、これらの生物が有機物分解の過程で生成する無機態窒素の量に対する温度の影響をカラムマイクロコスムを用いて実験的に検討した。

### 2. 材料と方法

#### 1) 材料生物の由来

線虫としてニセネグサレセンチュウと *Ap. composticola* を供試した。その理由は、これらが農耕地土壌に普通に見られる代表的な糸状菌食性線虫であり、多種の糸状菌を摂食するが（Giannakis・Sanders 1989, Mankau・Mankau 1963）、高等植物は摂食しないためである（Hesling 1977）。また、予備試験の結果、これらの線虫は互いに増殖適温が若干異なるため、温度の影響の受け方が異なると期

待される。線虫は2種とも、米国 University of California, Davis 校構内の「持続的農法システムプロジェクト (Sustainable Agriculture Farming System Project)」の試験区圃場の土壌から採取し (Chen・Ferris 1999), *Rh. solani*, *Bo. cinerea*, *Fu. oxysporum* 菌を順次餌として与えて 22-25℃で継代培養したものである。糸状菌としては *Rh. solani* と *Bo. cinerea* を供試した。なぜなら、1) これらの菌は共にニセネグサレセンチュウと *Ap. composticola* にとって好適な餌であり (Mankau・Mankau 1963, 本稿のII), 2) 窒素測定用のカラムに充填する、有機物を混入した砂の培地で菌叢がよく生育し (Chen・Ferris 2000), 3) 予備試験の結果、菌叢生育に適した温度が菌種間で互いに異なり、温度の影響の受け方が異なると期待されたからである。このうち、*Rh. solani* は著名な土壌伝染性植物病原菌である。一方、*Bo. cinerea* も植物病原性菌であるが土壌生息性ではない。しかし、前述のように *Bo. cinerea* は *Rh. solani* とは異なる温度反応性を持つと期待されるため、あえて今回の試験で用いた。2種の菌は共に University of California, Davis 校植物病理学科の保存菌コレクションから提供された。菌は本試験まで、PDA 培地上で 22 - 25℃で継代培養した。

## 2) 材料生物の生育と増殖に対する温度の影響調査

### (1) 糸状菌

糸状菌の生育速度は砂培地 (アルファルファとセルロースを有機物として混入した砂) の上で測定した。この培地を用いたのは、後述のように無機態窒素量を測定するカラムシステムに一般的な土壌よりも適していたからである。培地を作るため、繊維状のセルロース 0.89g (Whatman 社製, C/N 比は 645/1) と、約 0.8 mm に粉碎した乾燥アルファルファ (*Medicago sativa*) の茎葉 0.4g (C/N 比は 11/1) を、直径 100, 高さ 20 mm のガラスシャーレ内で 20g の砂と混ぜた。用いた砂は事前に硫酸処理して有機物を分解、除去した。砂培地中の有機物全体の最終的な C/N 比は 35/1 になった。作製した培地を滅菌するため、121℃でオートクレーブを 30 分間ずつ二度行った。その後、*Rh. solani* か *Bo. cinerea* のいずれかが生育した PDA 培地を直径 10 mm に切り取って砂培地上に接種した。その後シャーレを 15, 20, 25, 29℃に置いた。この温度範囲は、実

際に大学構内の試験圃場で作物栽培期間中に記録されているものである (Venette・Ferris 1997)。菌糸の生育速度を測るため、培地上の菌叢の直径を、菌叢がシャーレの外縁に達するまで毎日記録した。データをもとに菌糸生育速度 (mm/day) を各菌ごとに算出した。

以上の生育試験は、2菌種について同時に行った。各菌の各温度について、5反復を設けた。菌種と温度を要因として ANOVA を行い、次いで回帰分析によって、各菌の生育速度に対する温度の影響を明らかにした。

### (2) 線虫

糸状菌の試験で用いたのと同様の砂培地をシャーレに入れ、餌として *Rh. solani* か *Bo. cinerea* のいずれかを接種し、菌叢を生育させた。ニセネグサレセンチュウと *Ap. composticola* を *Rh. solani* で培養した後、無菌条件下で抽出し、全面に菌叢が広がったシャーレに、どちらかの線虫 20 個体を接種した。シャーレを 15, 20, 25, 29℃に置いて 21 日間線虫を増殖させた。その後シャーレごとに培地をバールマン漏斗に乗せ、各温度下で 24 時間線虫を抽出し、個体数を調査した。各シャーレごとに線虫の増殖率  $R = Pf/Pi$  ( $Pf$  は 21 日後の個体数,  $Pi$  は接種頭数で 20) を算出した。ニセネグサレセンチュウと *Ap. composticola* の試験は別々に行い、各菌種-温度の組合せごとに 4 反復を用意した。統計分析に先立ち、必要に応じてデータを対数またはべき乗変換して分散を等しくした。菌種と温度を要因として ANOVA を行い、次いで回帰分析によって線虫各種の増殖率に対する温度の影響を検討した。

### 3) 無機窒素生成に対する温度と線虫種の影響試験

有機物分解による無機態窒素生成に対する温度と線虫種との影響を調べるため、Chen・Ferris (1999) の方法によりカラムマイクロゾムを作製し、15, 20, 25, 29℃に置いた。カラムには、有機物を分解する糸状菌として *Rh. solani* か *Bo. cinerea* のいずれかを入れた。各菌につき、菌のみ接種、菌とニセネグサレセンチュウを接種、菌と *Ap. composticola* を接種の 3 タイプのカラムを 3 反復ずつ作製した。

#### (1) カラムの作製

長さ 300 mm, 直径 40 mm の塩化ビニルパイプの一端に蓋をした容器をカラムとして用いた (Ferris et



図4 無機態窒素測定に用いたカラムマイクロコズム  
図は滲出法による測定を実施している場面。

al. 1998, 図4)。後述する窒素滲出液を回収するため、蓋の中心に直径6mmの穴を開けた。また、カラムに入れる砂培地の流出を最小限にとどめるため、0.24mm目のステンレス網を内側から蓋に張った。窒素をあらかじめ除去した砂380gにアルファルファ茎葉片2.28gとセルロース粉末5.05gを混入し（最終的なC/N比は35/1）、培地を作製した。培地は116℃で2回オートクレーブして滅菌し、カラムに入れた。糸状菌の接種のため、あらかじめシャーレ内で菌を生育させた砂培地をカラム内の培地に混入させた。線虫を含むカラムには、ニセネグサレセンチュウか *Ap. composticola* いずれかを、砂培地1g当たり50個体の密度になるように接種した。作製したカラムは完全無作為配置で各温度の恒温室内に置いた。実験終了時（カラム作製から22日後）に各カラムから80gの培地を取り出し、線虫をベールマン漏斗で抽出して密度を調べ、線虫の増殖率を算出した。

#### (2) 窒素生成量の調査

定期的な滲出法 (Chenn・Ferris 2000, Ferris et al. 1998) により、カラム内で無機化された窒素の量を調査した。すなわち、カラムの下側の蓋の穴にゴム栓をし、60mlの蒸留水を上から注いだ。その4分後に栓を外し、カラムの培地内に生成された窒素を30分かけて溶出した。溶出した液量を記録後、その6mlを窒素分析用の試験管に入れ、-10℃で保存した。培地の水分の偏りを最小限にするため、窒素の回収後にカラムを水平に置いた。窒素の定量のため、試験管に採った溶液を解凍し、4MのKClを6ml加えて1時間攪拌した。拡散電導度計

(diffusion conductivity analyzer) によってアンモニウム態 ( $\text{NH}_4^+$ ) と硝酸態 ( $\text{NO}_3^-$ ) の窒素の量を各々計測し、その和を無機態窒素の量とした。以上の調査を3日おきに行った。各々のカラムについて、21日間に生成した無機態窒素の総量を算出した。2種の糸状菌各々の実験について、線虫の種類と温度がカラム内の無機態窒素生成量と線虫増殖率に及ぼす影響を調べるため、2元配置ANOVA、回帰分析及びTukeyの多重比較を行った。また、各温度において、対照区(菌のみ)と、線虫接種区(菌+ニセネグサレセンチュウ, 菌+ *Ap. composticola*)との間で窒素生成量に違いがあるか検討するため、Dunnnettの多重比較を行った。

### 3. 結 果

#### 1) 生物の生育と増殖に対する温度の影響

糸状菌の菌糸生育速度に対して菌種の主要効果が有意となり (ANOVA,  $P<0.01$ )、*Rh. solani* はどの温度でも *Bo. cinerea* より生育が速かった (図5)。また、菌種と温度との相互作用も有意であった ( $P<0.01$ )。 *Rh. solani* は温度とともに生育速度が増加したが、 *Bo. cinerea* は15-25℃の範囲で温度とともに生育がわずかに速まったものの、25-29℃では生育速度が小さくなった。2菌種の温度反応曲線はいずれも3次関数で回帰できたが、その形状は両者で異なった ( $P<0.01$ , 図5)。

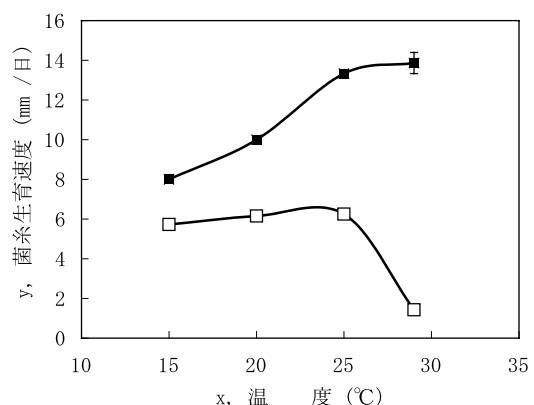


図5 アルファルファとセルロースを混入して作製した砂培地での *Rh. solani* (黒点) と *Bo. cinerea* (白点) の菌糸生育速度 (y, mm/日) に対する温度 (x, °C) の影響

15, 20, 25, 29℃での培養試験の結果に基づき、生育速度から温度への回帰曲線を推定した (*Rh. solani*:  $y=55.93-7.73x+0.39x^2-0.01x^3$ ,  $r^2=0.953$ , *Bo. cinerea*:  $y=72.05-10.58x+0.55x^2-0.01x^3$ ,  $r^2=0.993$ , ただしxは温度, yは菌糸生育速度)。シンボル上の縦棒は標準誤差を示すが、多くの場合誤差が小さく、縦棒がシンボルの中に含まれている。

線虫のうちニセネグサレセンチュウでは、増殖率に対する温度の主要効果のみ有意で (ANOVA,  $P<0.01$ ), 餌糸状菌種による増殖率の違いは見られなかった。増殖率は温度と共に増加し、その反応曲線はどの菌種の場合でも 3 次関数で回帰され ( $P<0.01$ ), 菌種間で曲線の形状に違いがなかった (図 6)。増殖率が最高になる温度は, *Rh. solani* を餌にした場合で 29 °C, *Bo. cinerea* の場合 27.5 °C と推定された。

*Ap. composticola* では、増殖率に対する温度と菌種の主要効果がともに有意で (ANOVA,  $P<0.01$ ), 温度によらず, *Rh. solani* を餌にした場合の方が *Bo. cinerea* の場合より増殖率が高くなる傾向があった (図 7)。温度反応曲線はいずれの菌種の場合も 3 次関数で回帰され ( $P<0.01$ ), 餌の菌種によらず線虫増殖率は 23 - 24 °C で最高に, 29 °C で最低になり, 曲線の形状は菌種間で似ていた (図 7)。

2) 無機態窒素生成に対する温度と線虫種の影響

(1) *Rhizoctonia* の試験

29 °C の *Ap. composticola* のカラム 2 本とニセネグサレセンチュウのカラム 1 本のデータは, 異臭がする等, カラム内に細菌が混入, 増殖した可能性があったため, 統計分析から除外した。無機態窒素の

総量に対する温度と線虫種との相互作用が有意で (ANOVA,  $P<0.05$ ), 菌+線虫のカラムでは温度の影響が認められたが, 菌のみのカラムでは認められなかった。温度と窒素量との関係は, ニセネグサレセンチュウのカラムでは 2 次関数で, *Ap. composticola* のカラムでは 3 次関数で回帰できた (図 8)。前者のカラムでは, 15 - 20 °C では温度が上がると窒素量が減ったが, それ以上の温度域では窒素量が増加し, 29 °C で最大になった。一方, *Ap. composticola* のカラムでは 20 °C で窒素生成量が最大になった。線虫を接種したカラムの多くは, その温度における対照区 (菌のみ接種) のカラムと比較して窒素量に違いがなかった。しかし, 29 °C のニセネグサレセンチュウのカラムはその温度の対照区より窒素量が有意に多く, 15 °C の *Ap. composticola* のカラムでは対照区より有意に少なかった (Dunnnett の多重比較検定,  $P<0.05$ , 表 5)。

線虫を接種したカラムでの線虫増殖率に対しては, 温度の主要効果及び温度と線虫種との相互作用が有意に影響していた (ANOVA,  $P<0.01$ )。増殖率はニセネグサレセンチュウのカラムでは 29 °C で, *Ap. composticola* のカラムでは 20 °C で最高であった (図 9)。増殖率と温度との関係はニセネグサレ

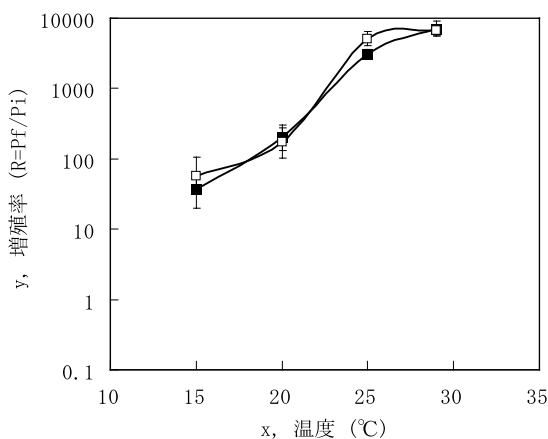


図 6 シャーレ試験において、*Rh. solani* (黒点) または *Bo. cinerea* (白点) を摂食したニセネグサレセンチュウの増殖率 ( $R=Pf/Pi$ , ただし  $Pf$  は 21 日後に抽出された線虫個体数、 $Pi$  は接種個体数で 20 頭/シャーレ)

培養試験の結果に基づき, 生育速度から温度への回帰曲線を推定した (*Rh. solani* :  $y=35.56-5.14x+0.25x^2-0.004x^3$ ,  $r^2=0.968$ , *Bo. cinerea* :  $y=71.03-10.35x+0.50x^2-0.007x^3$ ,  $r^2=0.985$ , ただし  $x$  は温度,  $y$  はデータの分散を同じにするためべき乗変換した後の線虫増殖率)。増殖率は, 再変換した後対数で表示。シンボル上の縦棒は 95% 信頼区間を示す。

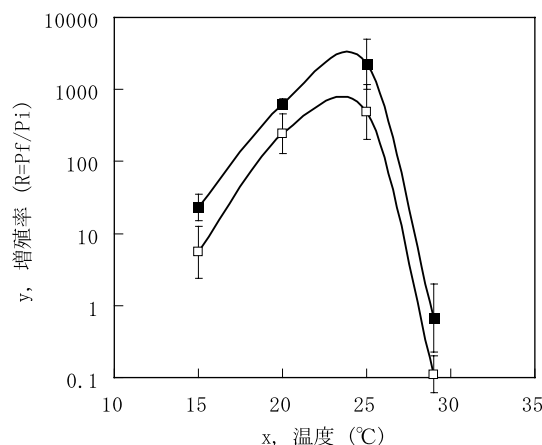


図 7 シャーレ試験において、*Rh. solani* (黒点) または *Bo. cinerea* (白点) を摂食した *Ap. composticola* の増殖率 ( $R=Pf/Pi$ , ただし  $Pf$  は 21 日後に抽出された線虫個体数、 $Pi$  は接種個体数で 20 頭/シャーレ)

培養試験の結果に基づき, 生育速度から温度への回帰曲線を推定した (*Rh. solani* :  $y=31.14-5.53x+0.32x^2-0.01x^3$ ,  $r^2=0.963$ , *Bo. cinerea* :  $y=41.44-6.88x+0.38x^2-0.01x^3$ ,  $r^2=0.962$ , ただし  $x$  は温度,  $y$  は, データの分散を同じにするためべき乗変換した後の線虫増殖率)。増殖率は, 再変換した後対数で表示。シンボル上の縦棒は 95% 信頼区間を示す。

センチュウでは直線（1次関数）で、*Ap. composticola*では曲線（2次関数）で回帰できた（回帰分析、 $P<0.01$ ）。

### (2) *Botrytis* の試験

無機態窒素の全生成量に及ぼす温度と線虫接種の影響のうち、温度の影響は有意でなく、温度への回帰は求められなかった（図10）。一方、線虫の主要効果は有意で、線虫を接種したカラムでは、接種しないカラム（対照区）より窒素生成量が有意に少なかった（Tukeyの多重比較検定、 $P<0.01$ 、表6）。温度ごとに見ると、29℃では、ニセネグサレセンチュウ

または *Ap. composticola* のカラムで、対照区より有意に窒素量が少なかったが、他の温度では、線虫を接種したカラムと対照区とで有意差がなかった（Dunnettの多重比較、 $P<0.01$ 、表5）。線虫増殖率に対する温度の主要効果、及び温度と線虫接種との相互作用が有意であった（ANOVA、 $P<0.01$ ）。ニセネグサレセンチュウと *Ap. composticola* のいずれでも、20℃で増殖率が最高になり、前者では15℃で、後者では29℃で最小になった（図11）。増殖率と温度との関係はニセネグサレセンチュウでは3次関数で、*Ap. composticola*では2次関数で回

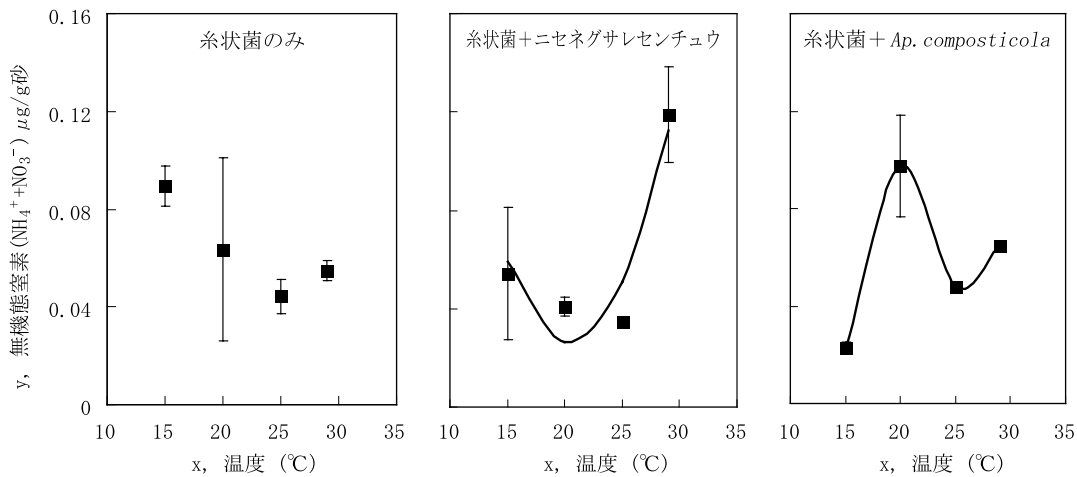


図8 *Rhizoctonia* の試験で検出された無機態窒素 ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ ) の21日間の総量に対する温度の影響

29℃のカラムのうち糸状菌+ニセネグサレセンチュウの1本と糸状菌+*Ap. composticola*の2本は、細菌が混入した可能性があったので統計分析から除外した。シンボル上の縦棒は標準誤差を示す。窒素量から温度への回帰曲線は糸状菌+ニセネグサレセンチュウと糸状菌+*Ap. composticola*で各々有意( $P<0.05$ )。次の式で表示できた。糸状菌+ニセネグサレセンチュウ： $y=0.4896-0.0454x+0.0011x^2$ ， $r^2=0.5519$ ，糸状菌+*Ap. composticola*： $y=-3.1061+0.4403x-0.0198x^2+0.0003x^3$ ， $r^2=0.7649$ 。ただし、 $x$ は温度(℃)， $y$ は窒素量( $\mu\text{g/g砂}$ )。

表5 「菌のみ」と「菌+線虫<sup>a)</sup>」の処理区（カラム）の無機態窒素量 ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ ) の比較

処理区	無機態窒素 ( $\mu\text{g/g砂}$ ) <sup>b)</sup>							
	<i>Rhizoctonia</i>				<i>Botrytis</i>			
	15℃	20℃	25℃	29℃	15℃	20℃	25℃	29℃
菌のみ	0.089	0.063	0.044	0.055	0.169	0.423	0.324	0.398
菌+ニセネグサレセンチュウ	0.054 (-0.035) <sup>c)</sup>	0.041 (-0.022)	0.035 (-0.009)	0.119 <sup>d)</sup> *	0.186 (0.017)	0.059 (-0.364)	0.127 (-0.197)	0.149* (-0.249)
菌+ <i>Ap. composticola</i>	0.023* (-0.066)	0.097 (0.034)	0.048 (0.004)	0.064 <sup>e)</sup>	0.075 (-0.094)	0.132 (-0.291)	0.070 (-0.254)	0.125* (-0.273)

a) 菌+ニセネグサレセンチュウ，菌+*Ap. composticola*。

b) 21日間に検出された窒素の総量。

c) 括弧内の数値は、「菌のみ」の窒素量から「菌+線虫」のそれを引いたもので、線虫が無機化した窒素の推定量を示す。負の値は「菌のみ」より「菌+線虫」の方が窒素量が少ないことを示す。

d) 3反復のうち、細菌の混入の可能性があった1反復を除外して統計分析した。

e) 3反復のうち2反復で細菌の混入の可能性があったので、統計分析しなかった。

注. \*は「菌+線虫」の窒素量が対照区（「菌のみ」）と有意に異なることを示す（Dunnettの多重比較、 $P<0.05$ ）。

帰できた。

#### 4. 考 察

温度は土壌生物の活動に影響を与える重要な要因の1つである。本研究では、*Rh. solani*と*Bo. cinerea*の菌糸生育速度と、これらの菌を摂食するニセネグサレセンチュウと*Ap. composticola*の増殖率及び、菌と線虫による砂培地中の窒素の無機化作用に対する温度の影響を実験的に調べた。

#### 1) 菌糸生育と線虫増殖率に対する温度の影響

*Rh. solani*と*Bo. cinerea*は菌糸生育の最適温度が異なっていた。前者は25 - 29℃、後者は20 - 25℃で菌糸生育速度が最大になった(図5)。この結果は既存の報告と同様である(Blakeman 1980, Sherwood 1970)。線虫の増殖の最適温度も線虫種間で異なっていた(図6, 7)。ニセネグサレセンチュウのそれは28℃以上で、既存の報告と一致し

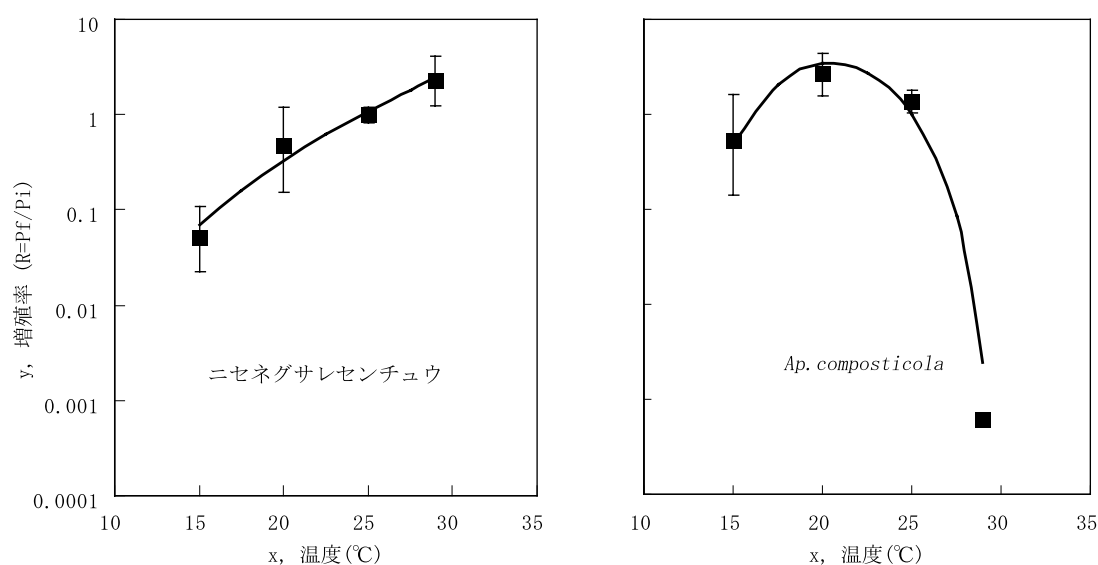


図9 *Rhizoctonia*のカラム試験におけるニセネグサレセンチュウと*Ap. composticola*の増殖率 (R=Pf/Pi) に対する温度の影響

線虫2種いずれについても、増殖率から温度への有意な回帰曲線が得られた ( $P < 0.05$ )。ニセネグサレセンチュウ:  $y = -0.0268 + 0.0418x$ ,  $r^2 = 0.8593$ , *Ap. composticola*:  $y = -4.2263 + 0.5363x - 0.0131x^2$ ,  $r^2 = 0.8581$ 。ただしxは温度(°C), yはべき乗変換後の線虫増殖率で、再変換後に対数で表示。縦棒は95%信頼区間を示す。

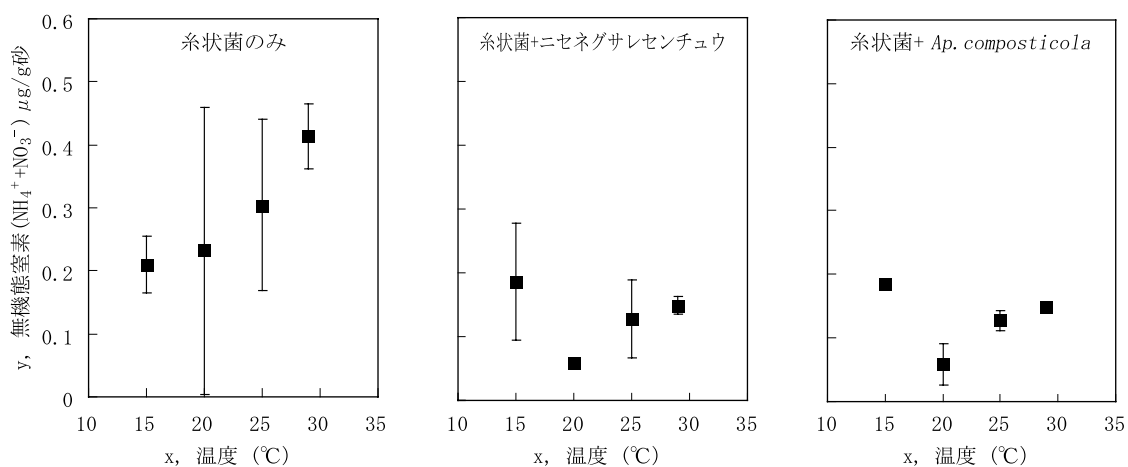


図10 *Botrytis*の試験で検出された無機態窒素 ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ ) の21日間の総量に対する温度の影響

糸状菌のみ、糸状菌+ニセネグサレセンチュウおよび糸状菌+*Ap. composticola*のいずれのカラムでも、窒素量から温度への有意な回帰曲線は得られなかった ( $P > 0.05$ )。シンボル上の縦棒は標準誤差を示す。



た (Mendis・Evans 1983, Pillai・Taylor 1967a)。 *Aphelenchoides* 属線虫の最適温度は種によって異なることが知られている (Huang *et al.* 1972, Rossner・Nagel 1984, Wallace 1960, Younes 1969)。今回得られた *Ap. composticola* の最適温度の 23℃ は、20℃とする他の報告 (Younes 1969) より若干高めであった。

## 2) 菌と線虫による窒素の無機化作用に対する温度の影響

### (1) *Rhizoctonia* の場合

カラム内で生成される無機態窒素の量に対する温度の影響は、菌のみの区と、菌+線虫の区とで異なっていた。菌のみの区では、15 - 29℃の範囲の温度は窒素の生成量に影響しなかった (図8)。すべての

表6 *Botrytis* の試験における無機態窒素量 ( $\text{NH}_4^+$  +  $\text{NO}_3^-$ ) に対する線虫接種の主要効果

処理区	無機態窒素 ( $\mu\text{g/g}$ 砂) <sup>a)</sup>
菌のみ	0.329a
菌+ニセネグサレセンチュウ	0.130b
菌+ <i>Ap. composticola</i>	0.100b

a) 4つの温度区の各3反復のデータをプールし、1処理区12反復として分析。

注. 同じ英文字を付けた値には有意差がない (Tukey の多重比較,  $P > 0.05$ )。

カラムで、内部の有機物 (アルファルファとセルロース)、及び接種源の菌は均一に分布していたと考えられる。従って、どの温度でも菌糸が速やかに生育し、菌量の実験開始後速やかにカラムの収容限界に達した可能性がある。糸状菌による窒素の無機化作用は、菌糸の生育速度と生育程度に影響されると考えられるので、菌量が収容限界に達すると、菌による無機化も一定となり、結果として、温度間での窒素量の違いが出なかった可能性がある。一方、菌と線虫をともに入れた区では、窒素量に対する温度の影響が有意であった。すなわち、ニセネグサレセンチュウのカラムでは 29℃で、*Ap. composticola* のカラムでは 20℃で窒素量が最大になった。これらの温度は、カラム内での各々の線虫の増殖率の最適温度 (図9) に一致する。さらに、29℃という温度は、シャーレ試験におけるニセネグサレセンチュウの増殖の最適温度にも一致している。一方、20℃という温度は、*Ap. composticola* のシャーレ試験における 23℃よりも少し低い。この違いは、カラムで 50 頭/g 砂、シャーレで 1 頭/g 砂という接種頭数の違いが影響したためかもしれない。25℃のカラムでは、試験期間の途中で線虫密度が収容限界に達し、その後密度が低下したために、最終的には 20℃より密度が下がったのであろう。以上の結果から、線虫増殖の最適温度で無機態窒素量

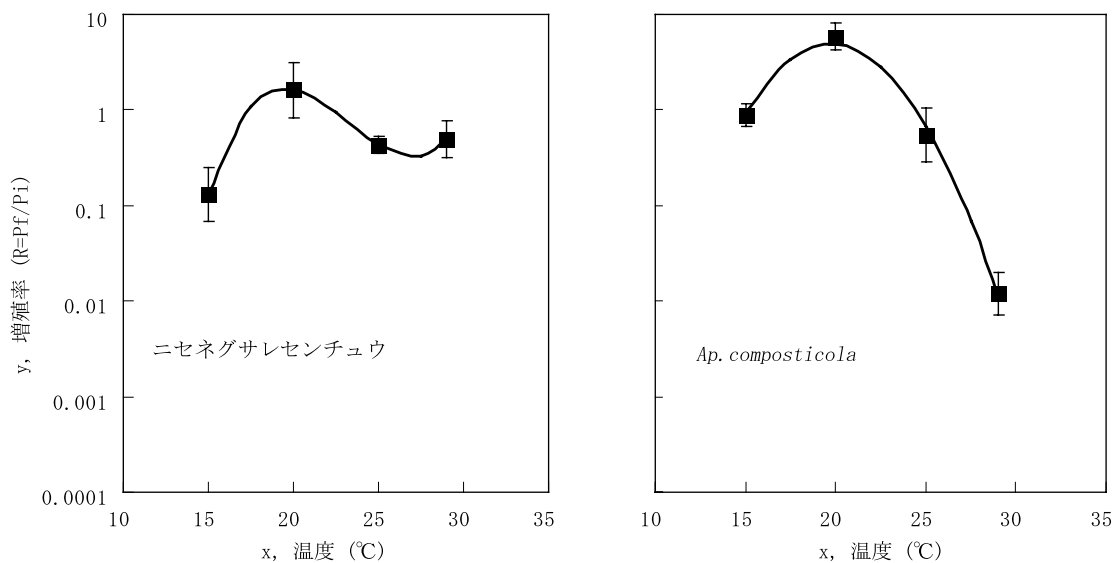


図11 *Botrytis* のカラム試験におけるニセネグサレセンチュウと *Ap. composticola* の増殖率 ( $R=Pi/Pi$ ) に対する温度の影響

線虫2種いずれについても、増殖率から温度への有意な回帰曲線が得られた ( $P < 0.05$ )。ニセネグサレセンチュウ:  $y = -40.136 + 5.4505x - 0.2407x^2 + 0.0035x^3$ ,  $r^2 = 0.8476$ , *Ap. composticola*:  $y = -11.4462 + 1.2271x - 0.0310x^2$ ,  $r^2 = 0.9734$ 。ただし  $x$  は温度 (°C),  $y$  は対数変換後の線虫増殖率で再変換後に対数で表示。縦棒は95%信頼区間を示す。

が最大になったのは、糸状菌菌糸に対する線虫の摂食圧がその温度で最大になり、結果として、菌糸の中に蓄えられた有機態窒素の無機化が最大になったためであると考えられる。結論として、糸状菌による有機物分解系では、糸状菌食性線虫の増殖を通して間接的に温度が窒素の無機化量に影響すると考えられる。

### (2) *Botrytis* の場合

菌のみ及び、菌と線虫をともに入れたからカラムのいずれでも、無機態窒素量に対する温度の影響が有意でなかった(図10)。菌のみのカラムで、15-25℃の温度が窒素量に影響しなかったのは、この温度範囲で菌糸生育速度がほとんど同じであったためと考えられる(図5)。興味深いことに、*Bo. cinerea*の菌糸がほとんど生育しない29℃でもいくらかの窒素が検出された。これは、死んだ菌体や他の有機物が高温で加水分解したためと考えられる。菌と線虫を入れたカラムでは、後述のように、線虫による窒素の無機化作用は小さいため、温度による窒素量の違いが検出できなかつたと考えられる。

### 3) 糸状菌による有機物分解系で糸状菌食性線虫は窒素の無機化に貢献するか?

今回の試験では、*Rh. solani* + ニセネグサレセンチュウの29℃の試験区を除き、菌+線虫の試験区で、菌のみのそれより窒素生成量が有意に多くなることはなかった。Chen・Ferris(1999)は、*Rh. solani* + ニセネグサレセンチュウや *Rh. solani* + *Ap. composticola*の試験区で、菌のみのそれより多くの窒素が検出されたと述べている。しかし、微生物+線虫の試験区と微生物のみのそれとの窒素量の差として推定される、無機態窒素生成への線虫の貢献度は、一般的には糸状菌食性線虫の方が細菌食性線虫より小さい(Ferris *et al.* 1998, Ingham *et al.* 1985)。その原因の一部は各々の生物の身体のC/N比の違いにあると考えられる。餌の微生物のC/N比より線虫のそれが大きいことは、微生物と同じ量の炭素で線虫の体をつくる場合に必要とする窒素が、微生物より少なくてすむことを意味する。微生物を摂食して獲得した窒素のうち、過剰な分を排出することで、線虫が土壌中の窒素増加に貢献すると考えられる。細菌食性線虫の身体のC/N比は6/1程度で、餌の細菌の4.5/1より大きいため、線虫は過剰な窒素を土壌中に多く排出する(Ferris *et al.* 1997)。一方、糸状菌食性線虫のC/N比は平均

9.5/1で、餌糸状菌の9/1に近い。従って、過剰分として排出できる窒素量は少ない(Chen・Ferris 1999, Griffin 1972)。無機態窒素生成への線虫の貢献度が小さかった他の原因には、実験に用いたカラムの環境が線虫の増殖に不適だったことがあげられる。今回の実験では、線虫種-糸状菌種-温度のすべての組合せにおいて、シャーレよりカラムの方で線虫の増殖率が低かった。最終的な線虫密度もカラムの方が低かった。例えば、20℃の *Rhizoctonia* 試験のニセネグサレセンチュウと *Ap. composticola* のカラムでの密度は各々28.8, 142.7/g砂で、シャーレでは214.4, 277.9/g砂であった。カラムでの密度が低かったのは、頻繁に行った溶出によって砂培地が過剰に湿っていたことによる可能性がある。

窒素生成への線虫の貢献が小さかったもう一つの原因として、カラムに入れた有機物のC/N比が考えられる。Chen・Ferris(1999)によると、カラムに入れた有機物のC/N比が大きくなると、菌のみを入れたカラムでは窒素生成量が小さくなった。この原因は、炭素に比べて窒素が少なくなると、いったん無機化された窒素のうち再び糸状菌に取り込まれてしまう量が増え、結果的にカラムで検出される無機態窒素量が減るためと考えられる。一方、線虫をともに入れたカラムでは、有機物のC/N比によらず線虫が窒素を無機化するが、線虫自身は菌と異なり無機態窒素の再吸収を行わないため、カラム内の無機態窒素の量は大きいまま、結果として線虫による無機化の割合が高まったと考えられる。今回の実験では、線虫が無機化する窒素の量を測定可能なレベル以上に増やすため、有機物(アルファルファとセルロース)のC/N比を35/1と高めに設定した。しかし実際は、線虫による無機化量は小さかった。有機物のC/N比をさらに高く設定していれば、より多くの窒素を検出できた可能性がある。しかしその場合は、線虫が無機化した窒素が再び菌に取り込まれる前に検出する必要があり、そのため、窒素の測定間隔を今回(3日に一度)より短くしなければならない。無機態窒素生成への糸状菌食性線虫の貢献度が高まる条件とは、線虫と糸状菌いずれの増殖率も最高になるような条件であると考えられるが、その証明実験を行うには実験系(装置)に更なる工夫が必要である。

## 新たに糸状菌食性が発見された *Filenchus* 属線虫

### 1. 緒言

Tylenchida 目線虫では、Anguinidae 科や Neotylenchidae 科で糸状菌食性の種が知られるが、Tylenchidae 科では糸状菌食性種の存在について見解が分かれていた。このことは、窒素循環等の土壤生態系の機能の研究や、環境指標としての線虫群集の利用研究において問題になっている。なぜなら、Tylenchidae 科の線虫は農耕地から森林までの様々な土壤環境において、線虫群集の中の優占群であるためである。Tylenchidae 科の線虫が植物根を摂食することは確認されているが (Sutherland 1967, Wood 1973a), 糸状菌菌糸を摂食することは完全には証明されていない。

このような状況の中で、著者は福島県福島市で、稲藁堆肥中に生息する Tylenchidae 科の 1 種が糸状菌菌糸を摂食することを発見した (図 12)。糸状菌を摂食する線虫としての本種の研究により、Tylenchidae 科の生態に関する貴重な情報が得られると期待された。そこでまず、この線虫の形態を精査して *Filenchus misellus* と同定した。次に、この線虫に 9 種 10 株の糸状菌を PDA 上で摂食させた場合の増殖率、体サイズ及び性比を測定し、餌として好適な糸状菌種を明らかにすることで、糸状菌食性線虫としての本種の特徴を把握しようとした。その際、仮説として、餌として好適な糸状菌を摂食した場合、この線虫は増殖率が高く、体サイズが大きく、性比が雌に偏ると考えた。また、今回の試験では *Fi. misellus* のほかに、農耕地に普通に生息する糸状菌食性線虫、すなわち、本稿 II, III で試験に用いたニセネグサレセンチュウ (*Ap. avenae*) についても同様の調査を同時に行った。その理由は、ニセネグサレセンチュウが Aphelenchida 目の Aphelenchidae 科に属し (Hunt 1993), *Fi. misellus* (Tylenchida 目, Siddiqi 2000) とは分類学的に大きく異なるためである。さらにこの 2 種の線虫は、生息地選好性も互いに異なる (Walker 1984, Geraert 1991, Háněl 2000)。従って、ニセネグサレセンチュウと比較することで、*Filenchus* 属線虫の生態学的特性をより鮮明にできると期待した。また、2 種の線虫の生息地選好性の違いを、今回用いた糸状菌種の生息地の違いによって説明しようと試みた。



図12 寒天培地上で糸状菌菌糸を摂食する Tylenchidae 科線虫

白い矢印は菌糸を、黒い矢印は線虫が産んだ卵 (4 個) を示す。右下の黒い棒はスケール (100 μm)。

糸状菌食性線虫としての *Filenchus* 属線虫の生態を解明するためには、これらが自然条件下でも糸状菌食性を実現しているか否かを検討する必要がある。そのためには、寒天ベースの人工培地である PDA だけでなく、土壤中でも、糸状菌を摂食した場合の増殖の有無を調べる必要がある。そこで、先述した福島市の稲藁堆肥由来 *Fi. misellus*, 及び日本の異なる地域の農耕地から採集した 3 種 5 系統の *Filenchus* 属線虫について、PDA 及び土壌を用いた培地での増殖性を調査した。先述の *Fi. misellus* とニセネグサレセンチュウとの比較試験の結果から、これら *Filenchus* 属の線虫はすべて、PDA 及び土壌の双方において、植物病原性菌よりも腐性菌で良く増殖するとの仮説を立てた。実際の試験では、稲藁堆肥由来の *Fi. misellus* 1 系統、農耕地由来の *Fi. misellus* 1 系統、*Fi. discrepans* 3 系統及び未記載種の *Filenchus* 属の 1 種 (*Filenchus* sp.) 1 系統 (表 7) について、6, 7 種類の餌糸状菌を与えた場合の菌種間、及び PDA と土壌培地 (有機物の粉末を土壌に混入して作製) との間での線虫の増殖率を比較した。また、稲藁由来の *Fi. misellus* 1 系統について、*Chaetomium globosum* を餌糸状菌として使用した場合の増殖率を、異なる種類と量の有機物を混入した土壌培地の間で比較した。その理由は、*Ch. globosum* を餌にした場合、PDA に比べ土壌培地で *Filenchus* 属線虫の増殖率が著しく低いことが予備試験で観察されたためである。増殖率が低かつ

表7 試験に供試した *Filenchus* 属線虫の系統

種	系統 <sup>b)</sup>	生息地	地域	採集時
<i>Fi. misellus</i>	1 <sup>c)</sup>	稲藁堆肥	福島市	2000年11月
<i>Fi. misellus</i>	2	イタリアンライグラス畑	都城市	2001年 3月
<i>Fi. discrepans</i>	1	大麦畑	福島市	2001年 5月
<i>Fi. discrepans</i>	2	大麦畑	福島市	2001年 5月
<i>Fi. discrepans</i>	3	ダイズ畑	福島市	2002年 7月
<i>Filenchus</i> sp. <sup>a)</sup>	1	リンドウ畑	盛岡市	2002年11月

- a) 未記載種。  
 b) 各系統は、単為生殖の雌成虫1頭から確立した。  
 c) ニセネグサレとの比較試験で供試した系統。

た原因として、土壤培地に混入したダイズ粉末が、餌としての糸状菌菌糸細胞の養分組成を、線虫の発育にとって不適にした可能性がある。さらに、ベールマン漏斗で線虫を抽出する際の効率についても検討した。その理由は、培地上に生育させる餌糸状菌の種類及び培地の種類 (McSorley 1987) が抽出効率に影響し、その結果、糸状菌間や培地間での線虫増殖率の比較を不正確にする可能性があるためである。

## 2. 稲藁堆肥中から発見された *Filenchus* 属線虫の形態

### 1) 材料と方法

福島市の東北農業試験場構内の稲藁堆肥置き場で2000年10月に採集した糸状菌食の *Filenchus* 属線虫を65℃で熱殺し、Seinhorst (1959) の方法によってTAF溶液で固定し、無水グリセリン溶液に移した。さらにグリセリン封入の永久プレパラートを作製し、雌21頭、雄5頭について、生物顕微鏡下で倍率200-1000で形態の観察及び計測を行った。

### 2) 結果と考察

雌の体は熱殺時に腹側にやや湾曲した (図13)。体長は340-400 μmであった (表8)。頭部は、円錐の先端を切断したような形状で、口針は微細であった (長さは平均7.2 μm)。中部食道球の直径は、その位置の体幅の約半分であった。後部食道球の形態は洋梨状で、食道に重ならなかった。尾は、長い円錐型をしていた。側帯には4本の側帯溝が認められた。体環は微細で幅が1 μm以下、受精嚢は円形でオフセット型であった。V値は平均69.2%、後部子宮枝の長さは、陰門部位の体幅より短かった。雄は、雌とほぼ同じ形態的特徴を有していた (図13)。体長は316-340 μmであった。交接刺はやや湾曲していた。精子は原形質をほとんど含まず、直径2 μm以下であった。形態値の測定の結果

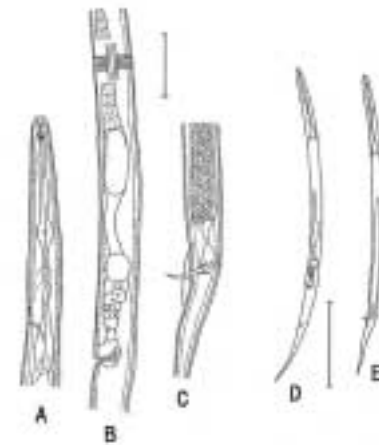


図13 稲藁堆肥から採集された線虫の形態

- A: 雌成虫の食道部; B: 雌成虫の卵巣及び陰部;  
 C: 雄成虫の交接刺周辺部; D: 雌成虫の全身;  
 E: 雄成虫の全身  
 スケールは、A, B, Cの上部にあるものは20 μm, DとEの下部にあるものは100 μmを示す。

(表8)、稲藁堆肥から採集された線虫個体群の雌の形態値は、Brzeski (1997) が測定した *Filenchus misellus* (Andrássy 1958) Lownsbery & Lownsbery, 1985 の22個体群と同じものが多かった。体長と尾長、頭部末端から排泄孔までの距離及びTail/V-a比は、稲藁の個体群の方がBrzeski (1997) の22個体群の平均値より10%大きいが、稲藁の個体群の値はいずれも、Brzeskiの個体群の最大値よりも小さかった。Brzeski (1997) は *Fi. misellus* の雄の形態には言及していないが、雌の形態的特徴と形態の諸測定値がBrzeski (1997) のそれとほとんど一致するため、堆肥の線虫個体群は、*Fi. misellus* であると結論された。

表8 稲藁堆肥で採集した *Filenchus misellus* (Andrássy, 1958) と Brzeski (1997) が調査した *Fi. misellus* 個体群の形態測定値

	稲藁堆肥の個体群								Brzeski (1997) の22個体群			
	雄 (N=5)				雌 (N=21)				雌			
	平均	S.E.	最小	最大	平均	S.E.	最小	最大	平均 <sup>a)</sup>	S.E. <sup>b)</sup>	最小 <sup>c)</sup>	最大 <sup>d)</sup>
L (体長, $\mu\text{m}$ )	330.4	5.2	316	340	357.7	3.6	340	400	320	11.4	264	371
L' (頭部先端～肛門の距離, $\mu\text{m}$ )	268.6	5.1	255	280	294.4	3	281	330	269	8.7	228	310
a (体長÷最大体幅)	34.9	0.2	34	35	27.6	0.5	23.9	31.3	28.6	0.8	24.6	32
b (体長÷食道長)	4.1	0.1	3.9	4.3	4.5	0	4.2	4.8	4.1	0.1	3.7	4.5
c (体長÷尾長)	5.3	0.1	5.2	5.7	5.7	0	5.3	5.9	6.1	0.3	4.9	7.3
c' (尾長÷肛門部体幅)	7.9	0.2	7.4	8.5	7.9	0.1	7.3	9	7.5	0.5	5.2	10
V (頭部先端～陰門の距離÷L, %)	—	—	—	—	69.2	0.2	67	70.9	69	0.9	65	73
V' (頭部先端～陰門の距離÷L', %)	—	—	—	—	84	0.2	81.4	85.5	82.6	0.4	81	84.4
T (精巣長÷L, %)	39.2	1.2	36	43	—	—	—	—	—	—	—	—
口針長 ( $\mu\text{m}$ )	6.8	0.2	6.4	7.2	7.2	0.1	6.4	8	6.8	0.2	6	7.5
食道長 ( $\mu\text{m}$ )	80.8	0.5	80	82	80.2	0.8	73.6	88	77.9	2.1	72	89
MB (頭部先端～中部食道球中心の距離÷食道長, %)	48.5	0.8	46	51	46.6	0.3	43.9	49.1	44.6	0.1	44	45
頭部先端～食道腺開口部の距離 ( $\mu\text{m}$ )	60	1.2	57	64	61.3	0.7	53.6	68	53.5	1.5	47	61
H-v (頭部先端～陰門の距離, $\mu\text{m}$ )	—	—	—	—	247.4	2.6	234	277	—	—	—	—
V-a (陰門～肛門の距離, $\mu\text{m}$ )	—	—	—	—	47	0.7	42	54	—	—	—	—
交接刺長 ( $\mu\text{m}$ )	13.2	0.2	13	14	—	—	—	—	—	—	—	—
副刺長 ( $\mu\text{m}$ )	3.8	0.2	3.2	4	—	—	—	—	—	—	—	—
尾長 ( $\mu\text{m}$ )	61.8	0.7	60	64	63.3	0.8	58	72	54.3	3.4	36	66
Tail/V-a (尾長÷V-a)	—	—	—	—	1.4	0	1.1	1.5	1.2	0.04	1	1.4
頭部先端～頸突起の距離 ( $\mu\text{m}$ ) <sup>e)</sup>	64	0	64	64	67.7	0.9	62.4	75.2	—	—	—	—

a) 22個体群の平均値。

b) Brzeski (1997) に示されていた標準偏差 (S.D.) から計算。

c) 最小平均値。

d) 最大平均値。

e) 雄では3, 雌では18個体でのみ測定。

### 3. *Fi. misellus* とニセネグサレセンチュウの増殖, 体サイズ, 性比に対する餌糸状菌種の影響

#### 1) 材料と方法

##### (1) 供試した線虫と糸状菌

試験に用いた *Fi. misellus* は, 稲藁堆肥から採取した単為生殖雌成虫1頭を起源とする系統を用いた。また, 比較のため, 東北農業試験場畑病害研究室から提供されたニセネグサレセンチュウの福島系統も試験に用いた。供試した餌糸状菌は9種10株で, 担子菌の *Agaricus bisporus*, *Coprinus cinereus*, *Pleurotus ostreatus* (ヒラタケ), 子嚢菌の *Chaetomium cochlioides*, *Chaetomium funicola*, *Ch. globosum*, 植物病原菌の *Fu. oxysporum* f. sp. *conglutinans*, *Fu. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*, *Py. ultimum*, *Rh. solani* である。このうち, 植物病原菌4株は, 第2章で示したように, Aphelenchida 目の *Aphelenchus* 属や *Aphelenchoides* 属線虫の増殖に適した菌である。*Ag. bisporus* と *Pl. ostreatus*

は, *Fi. misellus* と同じ Tylenchida 目に属する他種の線虫がよく増殖することが知られている (Cayrol 1962, Tsuda・Futai 2000)。ただし, *Pl. ostreatus* は線虫捕食菌としても知られている (Thorn・Barron 1984)。*Co. cinereus* と *Chaetomium* 属の3株は, *Fi. misellus* を最初に採集した稲藁堆肥中に生息していた。*Ag. bisporus*, *Co. cinereus*, *Pl. ostreatus*, *Ch. cochlioides* 及び *Ch. funicola* は, 各々 IFO30774, IFO30628, IFO30776, IFO30576, IFO31835 として財団法人発酵研究所から提供された。他の糸状菌株は東北農業試験場畑病害研究室から提供された。

##### (2) 増殖率の測定

*Rh. solani* を餌として *Fi. misellus* とニセネグサレセンチュウを培養後, 各々を無菌条件下で抽出した。一方, 10倍希釈の PDA 培地 (寒天濃度 1.5%) を 10ml 分注した直径 90 mm のガラスシャーレに, 糸状菌 10 株のいずれか 1 つを接種して菌叢を生育させた。菌叢がシャーレ全面に広がってから, 2 種

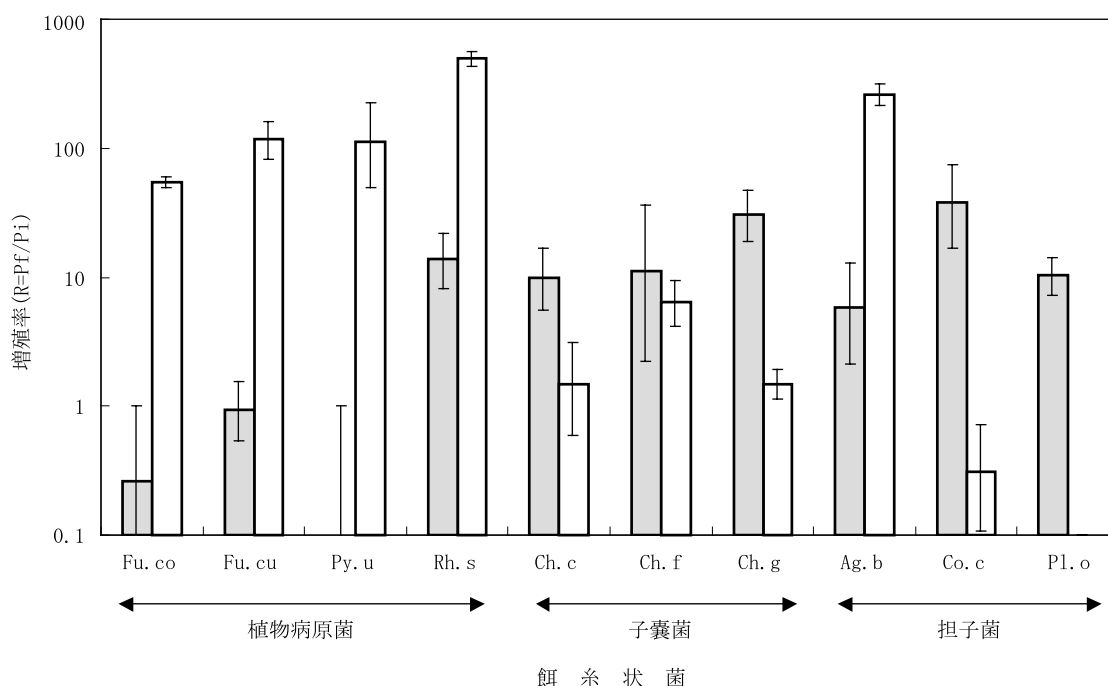


図 14 25℃で40日間糸状菌菌叢で培養した後の線虫の増殖率 (R=Pf/Pi)

網掛けは*Fi. misellus*, 白抜きはニセネグサレセンチュウを示す。Fu.co, Fu.cu, Py.u, Rh.s, Ch.c, Ch.f, Ch.g, Ag.b, Co.c及びPl.oは、各々*Fu. oxysporum* f. sp. *conglutinans*, *Fu. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*, *Py. ultimum*, *Rh. solani*, *Ch. cochlioides*, *Ch. funicola*, *Ch. globosum*, *Ag. bisporus*, *Co. cinereus* 及び *Pl. ostreatus* を示す。各増殖率における縦棒は、データを再変換した後の95%信頼区間を示す。

の線虫いずれかを、シャーレ1枚に30頭ずつ接種した。どの線虫-菌株の組合せについても4反復(シャーレ4枚)を用意した。シャーレを25℃, 24時間暗黒の条件に置き, 40日後に線虫をベールマン漏斗で抽出した。シャーレごとに線虫個体数を調査し, 増殖率 $R=Pf/Pi$  (Pfは抽出個体数, Piは接種頭数で30頭)を算出した。分散を等しくするためデータをべき乗変換した後, 線虫増殖率に対する線虫種と菌株の影響を検討するため2元配置ANOVAを行った。

### (3) 体サイズと性比の測定

増殖率の測定を終えた線虫について体サイズと性比を調査した。十分な個体数を得るため, 各線虫種-菌株の組合せについて4反復分の材料を足し合わせて用いた。熱殺した線虫をSeinhorst (1959)の方法によってグリセリンに置換し, 永久プレパラートを作製した。各線虫種-菌株の組合せについて, 無作為に選んだ10頭の雌成虫の体長と最大体幅を顕微鏡下で測定した。また, 性比を調査するため, 42から100頭の成虫について, 雄の個体数を記録した。体サイズについて, 10個体の平均の体長及

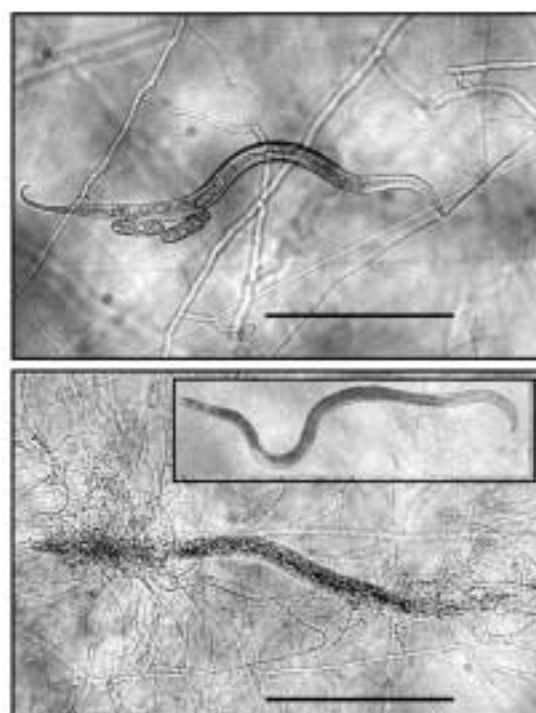


図 15 *Pl. ostreatus* の菌叢上における線虫の反応

上：菌糸を摂食して産卵する*Fi. misellus*。  
下：菌糸に捕捉され摂食されるニセネグサレセンチュウ。捕捉される前の写真も示す。図中のスケールはいずれも100μmを示す。

び体幅と、線虫増殖率との間に有意な相関があるか、Spearmanの順位相関法で検定した。性比についても増殖率との間の相関の有無を調べた。

## 2) 結 果

### (1) 線虫増殖率

増殖率に対する線虫種と菌株との間の交互作用が有意であった(ANOVA,  $P < 0.001$ )。 *Fi. misellus* では、 *Rh. solani* を除く全ての植物病原菌株で、40日後の線虫密度が接種密度(30頭/シャーレ)を下回り、増殖率が1より低くなった(*Fu. oxysporum* f. sp. *conglutinans*, *Fu. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*, *Py. ultimum* での増殖率は各0.26, 0.94, 0.0, 図14)。しかし、非病原性の菌株すべてで、増殖率は1を上回った( $5.8 < R < 38$ )。 *Fi. misellus* は、線虫捕食菌である *Pl. ostreatus* の菌糸をも摂食して、産卵、繁殖した(図15)。一方、ニセネグサレセンチュウでは、植物病原菌の4株と担子菌の *Ag. bisporus* で増殖率が高かった( $R > 50$ , 図14)。一方、子嚢菌の3株(*Chaetomium* spp.) では増殖率は低いか中程度であった( $1 < R < 7$ )。また、担子菌2株、 *Co. cinereus* と *Pl. ostreatus* では増殖率が1未満であった(*Co. cinereus* では  $R = 0.31$ , *Pl. ostreatus* では0.0)。ニセネグサレセンチュウの幼虫と成虫は *Pl. ostreatus* の菌糸に捕捉、摂食され、まったく増殖できなかった(図15)。

### (2) 体サイズと性比

*Fu. oxysporum* f. sp. *conglutinans*, *Py. ultimum* の試験区の *Fi. misellus* と、 *Co. cinereus*, *Pl. ostreatus* の試験区のニセネグサレセンチュウについては、得られた個体数が少なかったため、体サイズと性比の統計分析から除外した。 *Fi. misellus* では、増殖率と雌成虫の体長及び最大体幅との間に有意な相関は認められなかったが(図16,  $P > 0.05$ )、線虫増殖率  $R$  が0.94と低かった *Fu. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* では得られた成虫の体長が最小(平均  $325 \mu\text{m}$ )で、増殖率が最高であった *Co. cinereus* から得られた線虫は体長も最大であった(平均  $412 \mu\text{m}$ )。一方、ニセネグサレセンチュウでは、体長と最大体幅のいずれもが線虫増殖率と有意な相関があった(図17,  $P < 0.05$ )。増殖率が最高の *Rh. solani* では、線虫の体長( $573 \mu\text{m}$ )と体幅( $25 \mu\text{m}$ )も最大になった。一方、増殖率が最低だった *Ch. cochlioides* では体長( $480 \mu\text{m}$ )と体幅( $19 \mu\text{m}$ )も最小であった。

*Fi. misellus* 成虫の性比は、餌糸状菌株の種類に

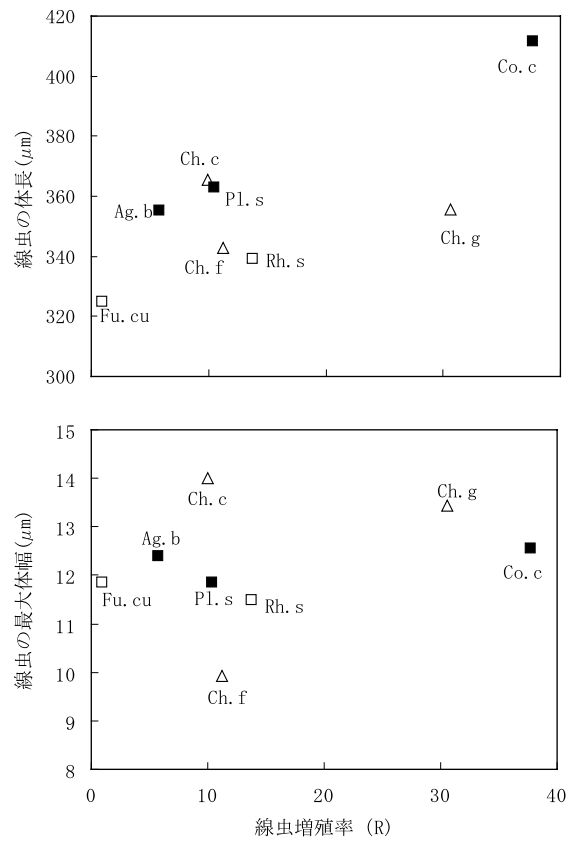


図16 *Fi. misellus* における増殖率と体長(上)および最大体幅(下)との関係

菌の名前の表示は図14と同じ。□が植物病原菌、△が子嚢菌、■が担子菌。線虫標本の数が不足していたので *Fu. oxysporum* f. sp. *conglutinans* と *Py. ultimum* でのデータは統計分析から除外した。増殖率は各糸状菌における4反復のデータの平均で示す。増殖率と体長及び最大体幅の間には有意な相関がない(体長, Spearmanの順位相関係数  $\rho = 0.429$ ,  $P > 0.05$ ; 体幅,  $\rho = 0.084$ ,  $P > 0.05$ )。

より7-21%まで変化したが、それと増殖率との間には有意な相関が認められなかった( $P > 0.05$ , 図18)。ニセネグサレセンチュウでは、どの菌株でも雄がまったく出現せず、性比はゼロであった。

## 3) 考 察

### (1) 線虫の餌としての糸状菌

増殖率から判断すると、 *Fi. misellus* にとって良い餌は *Chaetomium* 属の子嚢菌、供試した全ての担子菌 (*Ag. bisporus*, *Co. cinereus*, *Pl. ostreatus*) 及び植物病原菌の *Rh. solani* であった(図14)。対照的に *Fusarium* 属と *Pythium* 属の植物病原菌は不適な餌であった。増殖率と体長との相関は有意ではなかったが、他の菌の試験区で得られた線虫より *Fu. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* で培養した線虫

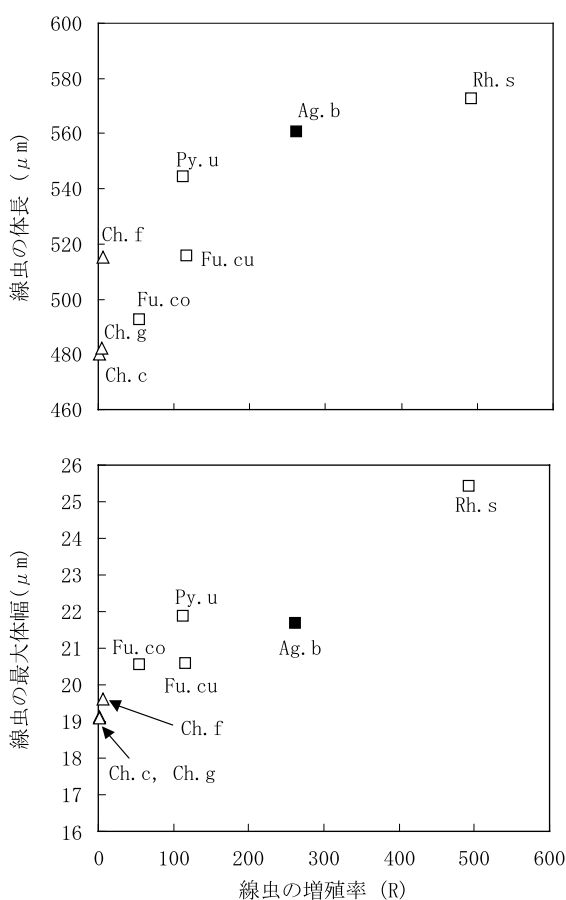


図 17 ニセネグサレセンチュウにおける増殖率と体長（上）及び最大体幅（下）との関係

菌の名前の表示は図14と同じ。□が植物病原菌、△が子嚢菌、■が担子菌。線虫標本の数が不足していたので、*Co. cinereus* と *Pl. ostreatus* のデータは統計分析から除外した。増殖率は各糸状菌における4反復のデータの平均で示す。増殖率と体長 (Spearman の順位相関係数  $\rho=0.952$ ,  $P<0.05$ )、増殖率と体幅 ( $\rho=0.905$ ,  $P<0.05$ ) のいずれの間にも有意な正の相関がある。

の方が体長が小さく、反対に、*Co. cinereus* や *Ch. globosum* で培養した線虫は大きかった (図 16)。一方、線虫の体幅も増殖率と有意な相関がなかったが (図 16)、これは、体内に卵を保持していた線虫の体幅が、餌の菌株の種類によらず他の個体より大きかったためである可能性がある。

増殖率、線虫の体長と体幅の傾向から判断して、ニセネグサレセンチュウにとっての良い餌菌株は植物病原菌の4株すべて (*Fu. oxysporum* f. sp. *conglutinans*, *Fu. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*, *Py. ultimum*, *Rh. solani*) と担子菌の *Ag. bisporus* であった (図 14, 17)。一方、*Chaetomium* 属の子嚢菌と、*Coprinus* 属、*Pleurotus* 属の担子菌は不適

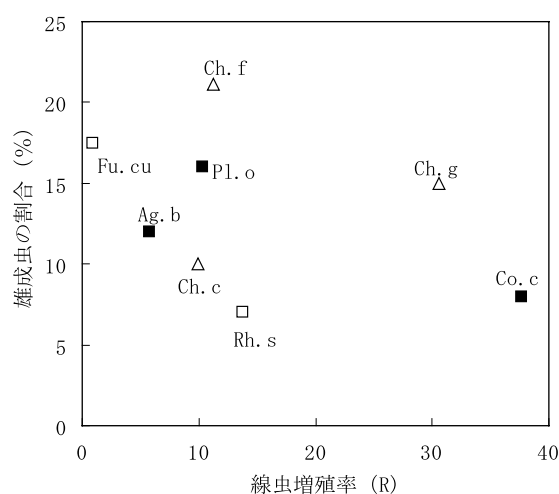


図 18 *Fi. misellus* における増殖率と性比（全成虫に占める雄成虫の割合）との関係

菌の名前の表示は図14と同じ。□が植物病原菌、△が子嚢菌、■が担子菌を示す。線虫標本の数が不足していたので、*Fu. oxysporum* f. sp. *conglutinans* と *Py. ultimum* でのデータは統計分析から除外した。増殖率は各糸状菌における4反復のデータの平均で示す。増殖率と性比には負の相関があるが有意でない (Spearman の順位相関係数  $\rho=-0.405$ ,  $P>0.05$ )。

な餌と考えられた。Mankau・Mankau (1963) は、*Pythium* 属を除く植物病原菌の多くはニセネグサレセンチュウにとって良い餌であるが、腐生菌の多くは不適な餌であると示唆した。今回の試験結果はその指摘とおおむね一致する。*Pythium* 属菌についても、ニセネグサレセンチュウにとって良い餌であるとの報告があり (Townshend 1964)、*Pythium* 属菌で増殖率が高かったとする今回の結果は妥当と考えられる。

植物寄生性線虫では、抵抗性品種等不適な餌植物に寄生すると雄成虫が増えて増殖率が低下する一方、感受性品種等好適な餌では逆に雌が増えて増殖率が高くなることが知られている (Dropkin 1959, Sano et al. 1983)。しかし、今回の試験で用いた糸状菌食性の *Fi. misellus* については、性比と増殖率との間に有意な相関が検出されなかった (図 18)。これは、線虫の培養期間が40日と短く、餌菌株の種類に応じて線虫の性比が十分変化しなかったためである可能性がある。ニセネグサレセンチュウでは菌株の種類によらず雄成虫がまったく出現しなかった。これは他の研究者の報告とも一致する (Townshend 1964)。ニセネグサレセンチュウでは、餌糸状菌の種類よりも、培養温度等の物理的条件の



方が雄の出現に大きく影響するためと考えられる (Hansen *et al.* 1972)。

(2) 線虫にとっての *Pl. ostreatus* 菌は敵か餌か?

*Pl. ostreatus* の菌糸は、Rhabditidae 科や Parasitaphelenchidae 科の線虫を捕食することが知られている (Thorn・Barron 1984, Mamiya 1997)。また、Iotonchiidae 科の線虫は、本菌の子実体を摂食するが、菌糸には逆に捕食される (Tsuda・Futai 2000, 津田私信)。*Pl. ostreatus* の菌糸は ostreatin と呼ばれる毒物質を分泌し、線虫を麻痺させ (Barron・Thorn 1987)、菌糸にある粘着突起で線虫を捕捉し、消化する (Saikawa・Wada 1986)。今回の試験でも、ニセネグサレセンチュウは本菌の菌糸に捕らえられて摂食されたため (図15)、線虫の増殖率はゼロになった (図14)。対照的に *Fi. misellus* は本菌の菌糸を摂食し (図15)、増殖した (図14)。従って、*Pl. ostreatus* は *Fi. misellus* にとって好適な餌であると同時に、ニセネグサレセンチュウにとっては捕食者であると言える。おそらく、*Fi. misellus* は本菌が分泌する毒物質に対する耐性を持つのであろう。*Fi. misellus* とニセネグサレセンチュウの、*Pl. ostreatus* に対する異なった捕食-被捕食関係は、これら2種の線虫の生息地選好性に影響を与えている可能性がある。このような捕食-被捕食関係は、*Fi. misellus* が Tylenhida 目、ニセネグサレセンチュウが Apelemchida 目というように、2種の線虫が属する系統の特性の違いに起因するかもしれない興味深い属性である。

(3) 餌糸状菌及び線虫の生息地

線虫の餌としての糸状菌の好適性と糸状菌の生理生態的特性から、*Filenchus* 属線虫と *Aphelenchus* 属線虫の生息地選好性の違いを説明できる可能性がある。まず、マイクロハビタット(1筆の畑等)のレベルでは、土壌有機物の豊富な畑に *Filenchus* は *Aphelenchus* より多く生息すると予想される。なぜなら、*Filenchus* は、植物体のセルロースやリグニンの分解者として知られる *Agaricus*, *Chaetomium*, *Coprinus*, *Pleurotus* 及び *Rhizoctonia* (Hayes 1978, Kurtzman 1978, Stevens 1981, Domsch *et al.* 1993, Dix・Webster 1995) でよく増殖するからである。生きた植物が存在しない土壌に植物残差を鋤込んだ後、*Filenchus* が *Aphelenchus* よりも著しく

密度が高くなったという McSorley・Frederick (1999) の報告がこの予想を支持している。ただし、*Filenchus* のマイクロハビタット選好性を明確にするには、この属の線虫の植物食性の有無についても検討する必要がある。なぜなら、この属が含まれる Tylenchidae 科のある属には植物根を摂食する線虫がいることが知られているためである (Sutherland 1967, Wood 1973a)。

農耕地、草原、森林といったマクロハビタットのレベルでは、*Filenchus* はどの環境にも生息し (Geraert 1991, Ruess 1995, Hånél 2000)、一方、*Aphelenchus* は主に農耕地と草原に生息地が限られることが知られている (Walker 1984, Yeates *et al.* 1997)。このような線虫の生息地の違いは、今回の試験で用いた菌株の生息地選好性で説明ができる (図19)。*Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia* は一般的に、森林よりも農耕地や草原に生息する (Clarke・Christensen 1981, Walker 1984, Domsch *et al.* 1993, Watanabe 1994)。*Agaricus* 属には森林に生息する種もいるが、*Ag. bisporus* はやはり農耕地や草原に多い (Phillips 1991)。*Chaetomium* と *Coprinus* は農耕地から森林まで広く生息する (Burgess 1965, Phillips 1991)。従って、*Filenchus* はどの環境にも、*Rhizoctonia*, *Agaricus*, *Coprinus*, *Chaetomium*, *Pleurotus* といった好適な餌糸状菌を持つが、*Aphelenchus* は *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Agaricus* といった好適な餌を農耕地と草原にしか持たない。このような説明は、*Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia* といった

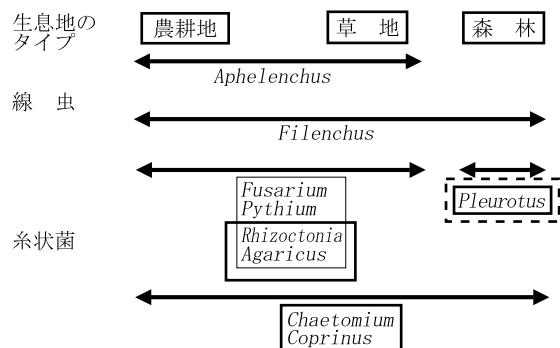


図19 糸状菌と線虫の生息地の概念図

細線および太線で囲った糸状菌は、各々ニセネグサレセンチュウ (*Ap. avenae*) と *Fi. misellus* にとって好適な餌であることを示す。点線で囲った糸状菌はニセネグサレセンチュウに対する捕食者。

*Aphelenchus* にとっての好適な餌糸状菌が多い小麦畑でこの線虫の密度が高く、好適な菌が少ない松林で逆にこの線虫が少ないという Walker (1984) の報告によっても支持される。今回の試験結果は、森林に *Aphelenchus* が少ない原因としても一つの要因があることを示唆している。つまり、線虫捕食菌 *Pl. ostreatus* の存在である。この菌やその近縁種の菌は森林に普通に生息しており (Barron・Thorn 1987)、その菌糸で *Aphelenchus* を摂食し (図 15)、この線虫の森林での生存率を下げている可能性がある。対照的に *Filenchus* は *Pleurotus* を摂食することができる。このことは、森林に *Filenchus* が生息する事実と矛盾しない。*Pleurotus* 属の菌と線虫との生態学的な関係は、今回の試験で明らかになったように、線虫の種類によって異なる。森林に普通に見られる線虫属の 1 つ、*Aphelenchoides* の場合、*Pleurotus* 属菌との関係は中立であるようだ。なぜなら、この線虫を菌が生育する培地に入ると、単に動き回るかコイル状に体を丸めるだけで菌を摂食しないし、また、菌も線虫を摂食しないためである (岡田 未発表)。森林土壌中の食物網構造を分析するためには、各線虫分類群と *Pleurotus* 属菌との関係を明らかにする必要がある。

#### 4. *Filenchus* 属線虫 3 種 6 系統の増殖に及ぼす培地と糸状菌種の影響

##### 1) 材料と方法

##### (1) 線虫、糸状菌及び培地

表 7 に示す 6 系統の線虫を用いた。種の同定は、稲藁由来の *Fi. misellus* について行ったのと同様に、標本を作製して形態値を測定し、Brzeski (1997) 等の検索表に基づいた。新種と考えられる *Filenchus* 属線虫の 1 種 (以下、*Filenchus* sp. と表示) は、体長が小さい (雌成虫 10 個体の平均で 318.7  $\mu$  m)、尾が長い (70.0  $\mu$  m)、a 値 (体長を最大体幅で割った値) が小さい (23.3) という形態的特徴を有する。これを含め、試験に用いた 6 系統の線虫 (表 7) はすべて、供試する直前に *Rh. solani* を餌にして培養した。試験に用いた餌糸状菌は次の 6 種である。うち 4 種は腐生菌で [*Rh. solani*, *Co. cinereus*, *Pl. ostreatus* (以上担子菌), *Ch. globosum* (子嚢菌)], 2 種が植物病原菌である [*Fu. oxysporum*, (不完全菌類), *Py. ultimum* (卵菌類)]。これらの菌を選んだ理由は、線虫増殖率の観点から、各菌が *Fi. misellus* にとって好適あるいは不適な餌である

ことが前回の試験で明らかにされているためである。これらの菌のうち、*Pl. ostreatus* (ヒラタケ) は Rhabditidae 科及び Aphelenchidae 科の線虫を摂食することが知られている (Thorn・Barron, 1984; 本稿 IV の 3)。また、*Rh. solani* は腐生菌の他、植物病原性菌としての性質も有する (Domsch et al. 1993)。腐生菌 *Flammulina velutipes* (担子菌) も、線虫を増殖させることが予備試験で判明していたので、*Filenchus* sp. の試験に供試した。供試菌のうち *Fu. oxysporum*, *Ch. globosum*, *Rh. solani* 及び *Py. ultimum* は東北農業試験場畑病虫害研究室から提供された。*Co. cinereus*, *Pl. ostreatus* 及び *Fl. velutipes* は独立行政法人製品技術評価機構の生物資源センター (千葉県木更津市) から、各々菌株番号 NBRC30628, NBRC30776, NBRC4901 として分譲された。

試験用の培地として次の 2 種類を用いた。その 1 つ「土壌培地」は、黒ボク土 (炭素含量 0.50, 窒素 0.09 %) にダイズを混入して作製した。ダイズを用いたのは、それが畑の緑肥として利用されているからである。実際には、風乾したダイズの鞘と茎 (炭素 47.1, 窒素 3.58 %) を 1 mm 以下の長さに切断して用いた。5 mm の目の篩を通した土壌 15 g にダイズ 45 mg をガラスシャーレ (直径 90 mm) 内で混ぜ合わせた。その地表にさらに 45 mg のダイズを振り播き、糸状菌の菌叢が土壌表面に一樣に生育するようにした。その後 8 ml の蒸留水を培地に加え、121  $^{\circ}$ C、30 分間のオートクレーブで滅菌した。*Filenchus* sp. の試験ではダイズが入手できなかったため、代わりに小麦のフスマを用いた。ダイズの場合と同様にして土壌に混入した。土壌培地の他に用いたのは、一般糸状菌培養用の PDA 培地 (Potato Dextrose Agar) であるが、濃度を通常の 1/10 にして用いた (寒天濃度 1.5 %)。実際には、2 g の PDA 粉末 (ニッスイ, 炭素 40.4, 窒素 0.63 %) と 6.75 g の寒天粉末 (和光製薬, 炭素 43.7, 窒素 0.10 %) を 500 ml の蒸留水に添加し、121  $^{\circ}$ C で 20 分間オートクレーブ滅菌して作製した。作製した培地はガラスシャーレに 10 ml ずつ分注した。

##### (2) 線虫の増殖率測定

線虫の系統、餌糸状菌種及び培地の種類が線虫の増殖率に及ぼす影響を調べるため、線虫の種類ごとに試験を行った。試験区を作るため、あらかじめ 7 種の菌のいずれかを生育させた PDA 培地の切片 1

cm<sup>2</sup>を、試験用シャーレ内の土壌培地と PDA 培地に接種した。一方、各系統の線虫を無菌条件下で抽出した。菌叢が培地全体を覆った後、各シャーレに、いずれかの線虫系統の 30 個体を接種した。*Fi. misellus* 及び *Fi. discrepans* の試験では、線虫系統、菌種及び培地の組合せ 1 つにつき 3 反復、*Filenchus* sp. の試験では 4 反復を設けた。シャーレは 25℃全暗条件に 46 日間置いた。その後線虫を抽出するために、シャーレ内の培地を、金網上の JK ワイパー (Kimberly-Clark) 上に置き、さらにそれをベールマン漏斗上に置いた。PDA 培地の場合、1 片 9 mm<sup>2</sup>以下に裁断してからワイパーに乗せた。25℃で 24 時間経過後、線虫を回収し個体数を調査した。シャーレごとに、線虫増殖率 (R) を抽出個体数/接種個体数 (30) として算出した。増殖率を対数変換した後、それに対する線虫の系統、糸状菌種及び培地の種類の影響を ANOVA で分析した。

### (3) *Ch. globosum* を餌にした場合の線虫の増殖に及ぼす培地の影響

前回の試験で、PDA 培地上で *Ch. globosum* を摂食してよく増殖することが示された、稲藁堆肥由来の *Fi. misellus* の系統 1 を供試した。土壌培地に入れる有機物として、小麦フスマとダイズ鞘茎を用いた。さらに、寒天を除いた PDA 培地に栄養条件を合わせるため、PDB (Potato Dextrose Broth, Difco Laboratories) も有機物として、土壌培地に供試した。各有機物につき 45 mg を 15 g の土壌と混合し、さらに 45 mg を培地表面に振りかけ、有機物の総量をシャーレ当たり 90 mg とした。ダイズについては、その総量をシャーレ当たり 20 mg 及び 50 mg に調整した土壌培地も作製した。これは、有機物量が 90 mg より少ないと糸状菌の菌糸が細くなり、線虫が容易に摂食できると期待したためである。土壌培地の対照として 1/10 濃度の PDA 培地を使用した。*Ch. globosum* を各培地に接種し、その菌叢がシャーレ全面に広がった時、線虫を 30 個体ずつ接種した。各培地につき 4 反復で、シャーレは 25℃、全暗に 44 日間おいた。その後線虫を抽出し、増殖率を算出し、ANOVA で培地の種類の影響を分析した。

### (4) 抽出効率

1/10 濃度の PDA 培地と、フスマを混入した土壌培地を他の試験と同様に作製して試験に供試した。*Fi. misellus* にとって好適な餌である *Rh. solani*,

*Ch. globosum* 及び *Co. cinereus* のみを今回は使用した。菌叢がシャーレ全面に広がった時、*Fi. misellus* の系統 1、*Fi. discrepans* の系統 1 または *Filenchus* sp. の系統 1 のいずれかを 515 頭/シャーレの割合で接種した。培地と菌種とのいずれの組合せについても 4 反復を用意した。*Fi. misellus* と *Filenchus* sp. のシャーレは 25℃に 24 時間放置し、線虫が培地の中に潜行するのを待った。しかし、後述するように *Fi. misellus* と *Filenchus* sp. の抽出率は著しく小かった。これは 24 時間の中で線虫が多数死亡したためであろうと考え、*Fi. discrepans* の試験では 1 時間しか放置しなかった。各々の放置時間の経過後、3 種の線虫をベールマン漏斗で 24 時間 25℃で抽出した。抽出された線虫の個体数を調査し、次式によって抽出効率を算出した。抽出効率 (%) = 抽出個体数/接種個体数 (515) × 100 そして、抽出効率に対する菌種と培地の影響を ANOVA で分析し、各線虫種について、t 検定と Tukey の多重比較で平均値の差の比較を行った。尚、データは等分散であったので、対数変換等は行わなかった。

## 2) 結 果

### (1) 線虫の増殖

*Fi. misellus* の増殖率に対して、線虫系統、糸状菌種及び培地との間の交互作用が有意であったが (ANOVA,  $P < 0.005$ )、用いた線虫 2 系統についての結果は似ていた。PDA 培地では、*Ch. globosum* と *Co. cinereus* を餌にすると線虫の増殖率は 14 以上と高くなった (図 20)。*Rh. solani* と *Pl. ostreatus* の場合は増殖率が中から高程度であった (1-15)。*Fu. oxysporum* と *Py. ultimum* では概して増殖率が低かった ( $< 1.5$ )。土壌培地上の線虫増殖率は、同じ線虫系統-菌種の PDA 培地の場合より低いか同程度であった。土壌培地では PDA 培地と同様な菌種と増殖率との関係が認められた。つまり、*Co. cinereus* での増殖率はやはり高く ( $R > 12$ )、*Rh. solani* と *Pl. ostreatus* では小さいか中程度であった ( $0.4 < R < 2.7$ )。さらに、*Fu. oxysporum* と *Py. ultimum* とでは増殖率は非常に低かった ( $< 0.1$ )。しかし、*Ch. globosum* については、PDA 培地の場合 ( $R > 14$ ) と結果が大きく異なり、土壌培地で 0.1 より小さかった。

*Fi. discrepans* の試験では、PDA 培地では 3 系統の線虫全てについて増殖率を調査したが、土壌培地

では培地量の不足のため、系統3についてしか調査できなかった。統計分析のANOVAでは、線虫系統と培地とを組み合わせる1要因とし、それと菌種との計2要因が線虫増殖率に与える影響を検討した。その結果、これら2要因間の交互作用が有意であった ( $P < 0.05$ )。PDA培地では3系統の線虫いずれについても、*Rh. solani*では増殖率は高く ( $R > 14$ )、

*Ch. globosum*と*Co. cinereus*では中程度 (5-10)、*Fu. oxysporum*、*Py. ultimum*及び*Pl. ostreatus*では小から中程度であった (0.3-5) (図21)。一方、土壌培地では、*Fi. discrepans*の系統3の増殖率は、どの菌種でもPDA培地の場合より概して小さかった。つまり、*Rh. solani*と*Co. cinereus*では $R = 3 - 21$ 、*Fu. oxysporum*、*Py. ultimum*、*Ch. globosum*及び

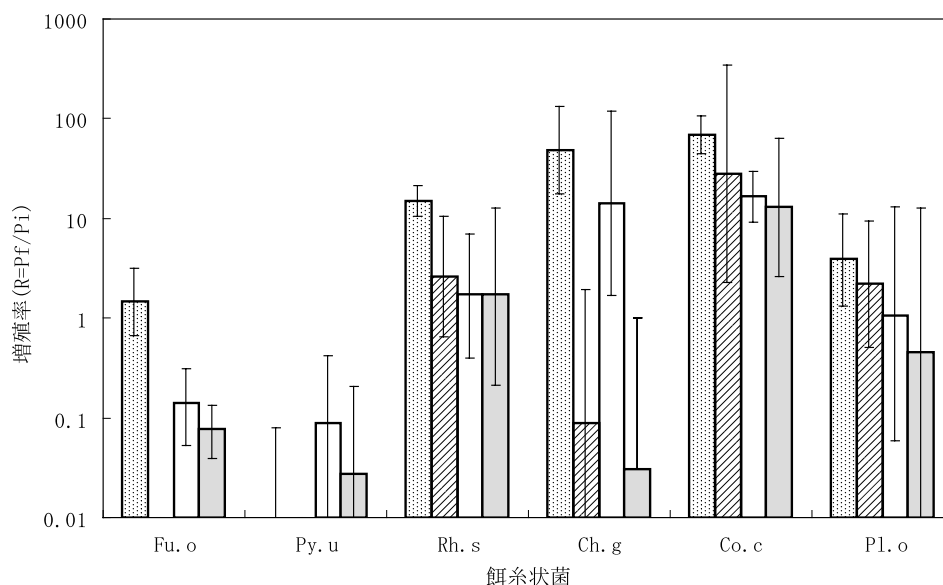


図20 25℃で46日間糸状菌菌叢で培養した後の *Fi. misellus* の増殖率 ( $R = Pf/Pi$ )

点刻は線虫系統1-PDA、斜線は系統1-土壌培地、白抜きは系統2-PDA、網がけは系統2-土壌培地。Fu. o, Py. u, Rh. s, Ch. g, Co. c および Pl. o は、各々 *Fu. oxysporum*, *Py. ultimum*, *Rh. solani*, *Ch. globosum*, *Co. cinereus* 及び *Pl. ostreatus* を示す。縦棒は再変換後の95%信頼区間を示す。

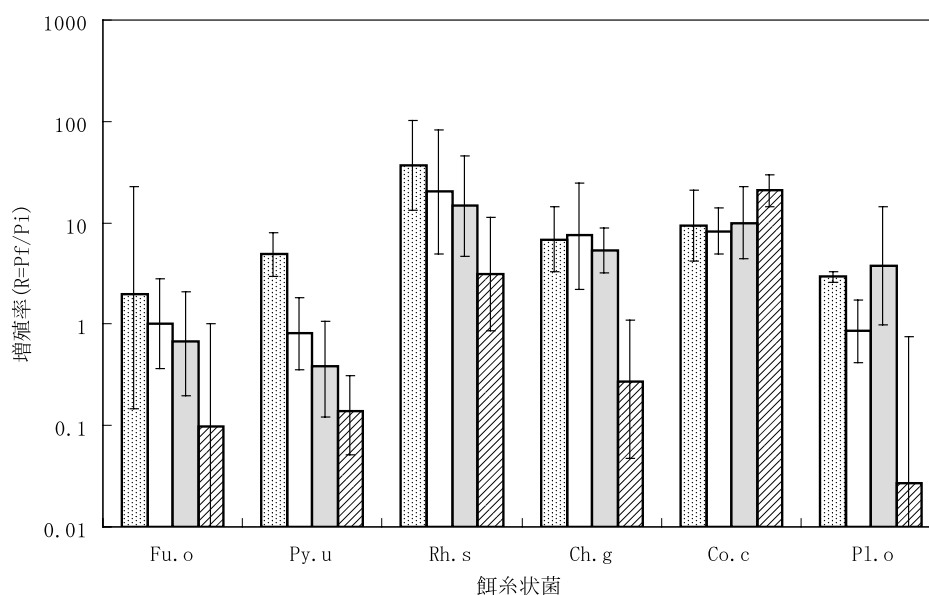


図21 25℃で46日間糸状菌菌叢で培養した後の *Fi. discrepans* の増殖率 ( $R = Pf/Pi$ )

点刻、白抜き、網がけはPDA上の増殖率で各々線虫系統1, 2, 3を、斜線は土壌培地上の系統3の増殖率を表す。餌糸状菌の略名は図20と同じ。縦棒は、再変換後の95%信頼区間を示す。

*Pl. ostreatus*では0.3未満であった。

*Filenchus* sp.の試験では、菌種-培地間の交互作用が増殖率に対して有意であった(ANOVA,  $P<0.01$ )。PDAでは、*Rh. solani*, *Co. cinereus*及び*Fl. velutipes*では増殖率は4-13と高めであったが、*Fu. oxysporum*, *Py. ultimum*及び*Pl. ostreatus*では0.2-4と小さめであった。(図22)。*Fi. misellus*や*Fi. discrepans*の場合(図20, 21)と異なり、

*Ch. globosum*はPDA培地でも*Filenchus* sp.の増殖を抑制した( $R=0.05$ )。土壤培地では、どの菌種の場合もPDA培地より線虫増殖率が低いか同程度であった(図22)。

(2) *Ch. globosum*を餌にした場合の線虫の増殖に及ぼす培地の種類の影響

培地の種類は明らかに*Fi. misellus*の増殖率に影響した(ANOVA,  $P<0.01$ )。PDAにおける増殖率

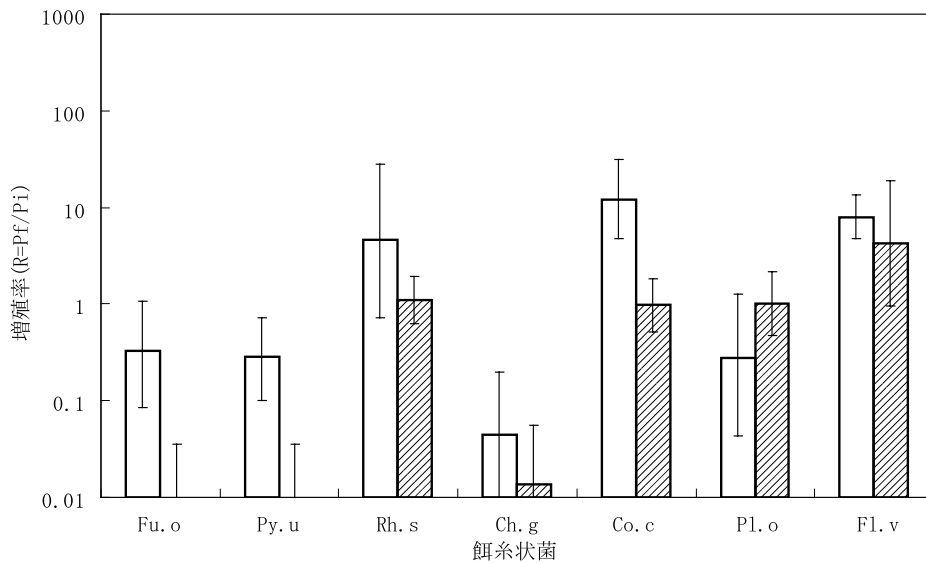


図22 25℃で46日間糸状菌菌叢で培養した後の*Filenchus* sp.の増殖率 ( $R=Pf/Pi$ )

白抜きと斜線は各々PDAと土壤培地。餌糸状菌の略名は図20と同じ。ただし、Fl. vは*Fl. velutipes*を示す。縦棒は、再変換後の95%信頼区間を示す。

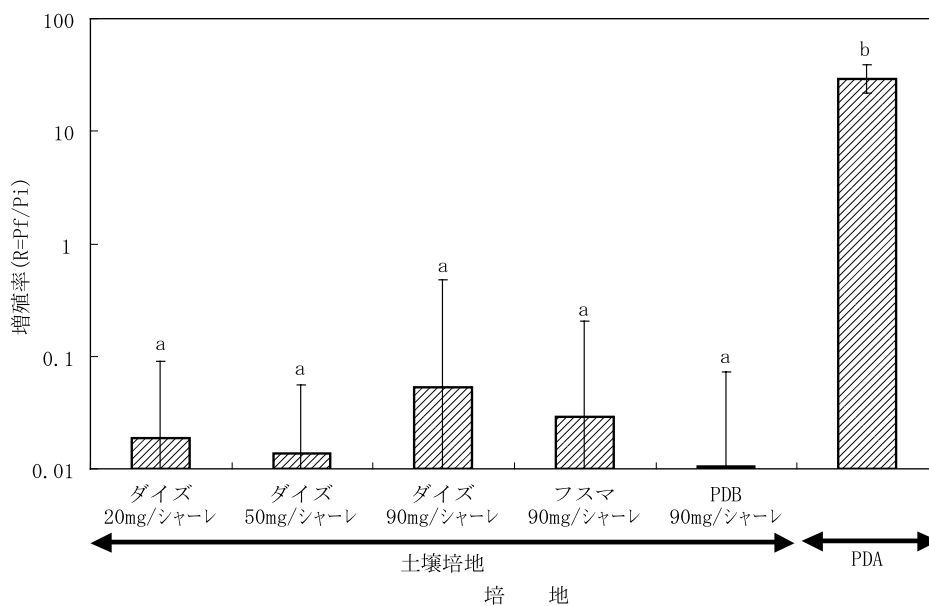


図23 異なる種類の培地に生育させた*Ch. globosum*を餌として25℃で44日間培養した*Fi. misellus*の増殖率 ( $R=Pf/Pi$ )

縦棒は再変換後の95%信頼区間を示す。同一英文字はTukey検定で有意差がないことを示す ( $P<0.05$ )。

は  $R=29.0$  と高かった (図 23)。一方、土壤培地では、混入した有機物の種類と量によらず、増殖率が 0.06 未満と非常に低く、線虫がほとんど繁殖していなかった。

### (3) 線虫の抽出効率

*Fi. misellus* のベールマン漏斗での抽出効率は 2.9-7.5% で (表 9)、それに対する培地と餌糸状菌の交互作用が有意に影響していた (ANOVA,  $P<0.01$ )。つまり、菌ごとに見ると、*Co. cinereus* の場合、土壤培地では PDA より、抽出される線虫個体数が有意に少なかった (t 検定,  $P<0.05$ )。しかし、*Ch. globosum* と *Rh. solani* の場合、抽出個体数は培地間で有意差がなかった ( $P>0.05$ )。次に培地ごとに見ると、PDA の場合、菌種は線虫の抽出率に有意な影響を与えなかった (Tukey 検定,  $P>0.05$ )。一方、土壤培地では、*Rh. solani* の場合、他の菌より抽出率が有意に高かった ( $P<0.05$ )。

*Fi. discrepans* の抽出率は 2.7 - 10.7% であった (表 9)。糸状菌種が抽出率に及ぼす主要効果が有意で (ANOVA,  $P<0.05$ )、*Co. cinereus* の場合の抽出率は、PDA でも土壤培地でも、他の菌より高かった。ただし、菌種間での抽出率の差は土壤培地でのみ有意であった (Tukey 検定,  $P<0.05$ )。菌種ごとにみると、抽出率の培地間の差は有意でなかった (t 検定,  $P>0.05$ )。

*Filenchus* sp. の試験では抽出率は 1.4-6.7% であ

った (表 9)。抽出率への菌種と培地の主要効果とともに有意であった (ANOVA, 各々  $P<0.01$ ,  $P<0.01$ )。PDA でも土壤培地でも、*Ch. globosum* の場合に抽出率が有意に高かった (Tukey 検定,  $P<0.05$ )。また、菌種によらず、土壤培地では PDA より抽出率が有意に低かった (t 検定,  $P<0.05$ )。

### 3) 考 察

#### (1) 抽出効率が線虫の増殖率測定に与える影響

*Fi. discrepans* の実験では線虫を培地に潜らせる時間がわずか 1 時間で、*Fi. misellus* や *Filenchus* sp. の場合の 24 時間に比べてかなり短かったが、同じ糸状菌 - 培地の組合せで比較すると、*Fi. discrepans* の抽出効率は他の 2 種の線虫のそれと概して差がなく、線虫 3 種全体の抽出効率は 1-11% だった (表 9)。これは、ベールマン漏斗によって土壤から抽出された Tylenchidae 科線虫の効率 (6 - 21%, Minagawa 1979) に比べて概して低い。その原因は、実験で使用した培地が、Minagawa (1979) が調査した土壤とは異なる物理的特徴を有していたことや、線虫が培地内を移動するときに菌糸のネットワークが障害物になった可能性等が考えられる。抽出効率が 1 - 11% という結果から、図 20 から図 23 に示した増殖率は過小評価されており、実際の線虫増殖率はそれらの 9 - 100 倍であると推測できる。従って、本試験で算出した増殖率が 0.11 より高い場合に、実際に線虫が増えたと考えら

表 9 線虫の抽出効率

線虫 <sup>a)</sup>	菌	抽出効率 <sup>b)</sup>		
		PDA	土壤培地 <sup>c)</sup>	
<i>Fi. misellus</i>	<i>Rh. solani</i>	5.24 a	7.48 a	ns
	<i>Ch. globosum</i>	4.32 a	2.91 b	ns
	<i>Co. cinereus</i>	6.89 a	4.51 b	*
<i>Fi. discrepans</i>	<i>Rh. solani</i>	4.85 a	3.35 a, b	ns
	<i>Ch. globosum</i>	5.78 a	2.67 a	ns
	<i>Co. cinereus</i>	6.7 a	10.73 b	ns
<i>Filenchus</i> sp.	<i>Rh. solani</i>	3.74 a	1.99 a, b	*
	<i>Ch. globosum</i>	6.65 b	3.54 a	*
	<i>Co. cinereus</i>	3.11 a	1.36 b	*

a) *Fi. misellus* と *Filenchus* sp. では接種後 24 時間、*Fi. discrepans* では接種後 1 時間で抽出。

b) 抽出個体数 / 接種個体数 (シャーレ当たり 515 頭)  $\times 100\%$  として計算。4 反復の平均値で示す。同じ線虫種と培地との組合せにおいて、同じ英文字の菌種の値には有意差がない (Tukey の多重比較,  $P>0.05$ )。同じ線虫種と菌種との組合せにおいて、\* は培地の値に t 検定で有意差有り ( $P<0.05$ )、ns は無し ( $P>0.05$ )。

c) フスマを有機物として混入して作製。

れる。

培地間で比較すると、どの糸状菌種を生育させた場合でも、土壌培地での線虫3種の抽出効率はPDAより概して低かった(表9)。初めの線虫密度が同じでも、培地が異なれば抽出効率も異なることが知られている(Kimpinsk・Welch 1971, McSorley 1987)。今回の実験で土壌培地での抽出効率が低かったのは、粘土等の微小の土壌粒子が、ベールマン漏斗で抽出する際に培地内での線虫の移動を阻害したためと考えられる。また、土壌培地でのこのような相対的に低い抽出効率が、線虫増殖率がPDAより土壌培地で低く表われた(図20, 21, 22)原因の1つと考えられる。

PDAにおいて生育させた糸状菌種の違いは、線虫の抽出効率にほとんど影響しなかった。従って、線虫増殖率による、線虫の餌としての糸状菌の好適性の評価には、糸状菌種ごとの抽出効率は影響していないと考えられる。一方、土壌培地では、菌種は抽出効率に有意な影響を及ぼし、しかも、最大の抽出効率を与える糸状菌種が線虫種間で異なった。それでもなお、*Rh. solani*と*Co. cinereus*が線虫の増殖に適した餌であり、*Ch. globosum*は不適な餌であるという評価は変わらないと思われる。なぜなら、*Rh. solani*と*Co. cinereus*での抽出効率は*Ch. globosum*での4倍程度なのに対し(表9)、前2者の菌での線虫増殖率は後者の菌でより11倍以上高いためである(図20, 21, 22)。

#### (2) 線虫の増殖に対する餌糸状菌と培地の影響

*Fi. misellus*, *Fi. discrepans*及び*Filenchus sp.*の実験で、線虫の増殖率は餌糸状菌と培地の両方の影響を受けることが示された(図20, 21, 22)。PDA培地を使用したときの線虫増殖率は、*Rh. solani*, *Ch. globosum*及び*Co. cinereus*を餌にした場合に、*Fu. oxysporum*, *Py. ultimum*や*Pl. ostreatus*の場合より高かった。これは、すでに報告した*Fi. misellus*の場合(Ⅳの3)と同様の結果である。PDA培地での今回の結果は、「*Filenchus*属線虫は、腐生性菌(*Ch. globosum*, *Co. cinereus*, *Rh. solani*, *Pl. ostreatus*, *Fl. velutipes*)を餌にした場合に、植物病原菌(*Fu. oxysporum*, *Py. ultimum*)の場合よりも増殖率が高い。」という仮説を支持する。しかし、*Pl. ostreatus*を餌にした場合は、*Co. cinereus*や*Rh. solani*の場合ほど線虫が繁殖しなかった。また、*Filenchus sp.*は*Ch. globosum*では繁

殖しなかった。これらの問題点については後で考察する。

土壌培地での培養試験の結果は、いくつかの点でPDAの場合と異なった。まず、同じ菌種のもとの線虫の増殖率は、土壌培地の方がPDAより低く、また、3種の線虫いずれも*Ch. globosum*では繁殖しなかった。すでに述べたように、抽出効率を考慮すると、増殖率が0.11を越えた場合に線虫が実際に増殖したと考えられる。このことを考慮しても、土壌培地における*Ch. globosum*は、*Fi. misellus* 2系統と*Filenchus sp.1*系統を繁殖させなかった(図20, 22)。このような*Ch. globosum*の餌としての不適性は、土壌培地に混入する有機物の種類や量を変えても変わらなかった(図23)。*Ch. globosum*はchaetoglobosinのような、人体に有害なマイコトキシンを産生することが知られている(Nielsen *et al.* 1999)。*Ch. globosum*がどのような環境条件の下でこのような毒物を産生するのか、また、この毒物が線虫にも有害であるか否かは不明であるが、土壌培地の中ではこの菌が多量の毒物を産生し、線虫の繁殖を抑制した可能性がある。*Filenchus sp.*はもともと、*Fi. misellus*や*Fi. discrepans*よりこの毒物に感受性が高いために、土壌培地だけでなくPDAでも繁殖できなかつたと考えられる。結局のところ、土壌培地においては、腐生菌*Ch. globosum*は*Filenchus*属にとって好適な餌ではなかつた。おそらく、この菌は野外でも*Filenchus*属線虫にとって好適な餌ではない可能性が高い。

#### (3) 線虫の餌としての*Pl. ostreatus*(ヒラタケ)

*Pl. ostreatus*は線虫捕食菌として知られている(Thorn・Barron 1984)。しかし、今回の試験の結果から、*Pl. ostreatus*は、*Rh. solani*や*Co. cinereus*ほど好適ではないにしろ、*Filenchus*属線虫の増殖に適した餌であることがわかった。実際、供試した6系統の線虫のいずれもが、PDAまたは土壌培地で、*Pl. ostreatus*を摂食し、0.11以上の増殖率を示した(これより値が大きいと線虫が実際に増殖したと考えられる。図20, 21, 22)。これは前回の*Fi. misellus*の試験と一致する(Ⅳの3)。*Pl. ostreatus*が所属するPleurotaceae科を研究している菌類学者は、この科を分類学的に定義する際の重要な形質として線虫捕食能をあげている(Thorn *et al.* 2000)。しかし、線虫がこの菌類に捕食されるのではなく、逆に線虫がこの菌類を摂食、増殖する場合

があるという今回の発見は、この形質について再検討を迫るものである。その後著者により、Dorylaimida 目線虫の *Tylencholaimus parvus* も *Pleurotus* 属の線虫捕食菌 (*Pl. ostreatus* 及び *Pl. plumonarius*) を摂食して増殖することが発見されている (Okada *et al.* 2005a)。従来線虫捕食能を有すると言われてきた *Pleurotaceae* 科の菌類が、どの種の線虫についても捕食能を発揮するか否かは明らかではない。むしろ、*Filenchus* 属や *Tylencholaimus* 属線虫のように、逆に線虫が菌を食べる場合が他にも発見される可能性がある。様々な線虫種を用いた今後の研究で、菌の分類体系と線虫捕食能との関係を明らかにすることにより、菌と線虫との生態的な相互作用が解明されることを期待する。

#### (4) Tylenchidae 科における糸状菌食性

Maturity Index 等、線虫群集を利用した環境指標を考案したオランダの Bongers らは「線虫研究者にとって最も重要な問題の1つは今もって、Tylenchidae 科の扱いである。このグループは糸状菌食者として扱うべきか、それとも植物根（の外皮細胞）食者なのか?」、と問題提起している (Bongers・Bongers 1998)。この背景には、Tylenchidae 科の線虫があらゆる土壤環境から普通に検出され、1つの調査地点の全線虫の最高で40%を占めるくらい高い頻度で出現する事実がある (Yeates・Bird 1994, Wright・Coleman, 2000)。Tylenchidae 科線虫の食性に関する情報はこれまで少なく (Yeates *et al.* 1993)、線虫群集の研究における本科線虫の食性群への振り分けは研究者によって異なっていた。すなわち、植物食群 (Freckman・Ettema 1993)、植物随伴群 (plant associate, 食性は不確かだが植物根圏に生息するの意, Yeates *et al.* 1999)、糸状菌食群 (Forge・Simard 2000)、植物根食兼糸状菌食群 (Ruess 1995, Hånél 2000, 2001) 等に振り分けられていた。植物食群や植物随伴群の線虫は、土壤環境よりも宿主植物の有無に大きく影響されるので、土壤環境への攪乱程度を評価する Maturity Index (Bongers 1990) や、土壤中の有機物の分解経路のタイプを評価する Channel Index (Ferris *et al.* 2001) 等の線虫群集指数の計算から除外される。その場合、群集構造について、除外しなかった場合と比べて著しく異なる分析結果をもたらす可能性がある。従って、本科線虫の食性を明らかにし、Bongers 氏の疑問に

答えることは、線虫生態学者にとって重要である。

Tylenchidae 科線虫が植物組織を摂食することはすでに確認されている (Sutherland 1967, Wood 1973a)。一方、糸状菌を摂食することは、Wood (1973b) と Brzeski (1998) が、各々 *Tylenchus* 属と *Filenchus* 属について断片的に観察しているとはいえ、十分調査されているとは言えない。糸状菌食性の有無を十分に検討することは、窒素循環等土壤生態系の機能における Tylenchidae 科線虫の役割を理解し、また、線虫群集の分析を適切に行う上で不可欠である。Tylenchidae 科線虫の中でも、農耕地から森林土壤まで普遍的かつ世界的に出現する *Filenchus* 属線虫については、糸状菌食性を有することを示す間接的な証拠がすでに得られていた。Hånél (2000) によると、森林の林床において、糸状菌の子実体の密度と土壤中の本属線虫の密度が比例した。また、McSorley・Frederick (1999) によると、生きた植物を除去した畑土壤に有機物を施用し、線虫群集の動態を調査したところ、植物食性線虫の密度が増加しなかったのに対し、*Filenchus* 属線虫は増加した。これは、有機物を栄養源として生育した糸状菌を線虫が摂食したためと考えられる。本研究では、前回の試験で用いた稲藁堆肥由来の *Fi. misellus* の1系統に加え、採集地が互いに異なる畑土壤由来の *Filenchus* 属線虫の新たな5系統、つまり、宮崎県都市の *Fi. misellus* の1系統、福島県福島市の *Fi. discrepans* の3系統及び岩手県盛岡市の未同定種 (*Filenchus* sp.) の1系統 (表7) についても、培養実験によって糸状菌食性を証明した (図20, 21, 22)。しかも今回は、PDAのような寒天ベースの培地だけでなく、土壤ベースの培地でも、これらの線虫が *Rh. solani* や *Co. cinereus* 等の菌を摂食して増殖することを確認した。以上の証拠は、*Filenchus* 属線虫において、糸状菌食性は例外的な習性ではないこと、また、自然の土壤中でもこれらの線虫が糸状菌を食べて繁殖していることを示唆している。従って、*Filenchus* 属線虫は、植物食性 (Freckman・Ettema 1993) や植物随伴性 (plant associate, Yeates *et al.* 1999) と考えるよりも、糸状菌食性 (Forge・Simard 2001)、あるいは植物根食兼糸状菌食性 (Ruess 1995, Hånél 2000) と判断する方が妥当である。その場合、*Filenchus* 属線虫は線虫群集指数の計算に含むべきであると考えられる。実際、本稿に記した著者の調査結



果(公表論文としては Okada *et al.* 2002, Okada and Kadota 2003)を引用し, *Filenchus* 属, さらには Tylenchidae 科の線虫を糸状菌食性, あるいは植物根及び糸状菌食性として扱った研究論文が発表されている(Háněl 2004, McSorley and Frederick 2004, Wang *et al.* 2004, Forge *et al.* 2005, Wang and McSorley 2005)。しかし, まだ疑問が残っている。*Filenchus* 属線虫は, Aphelenchida 科線虫のニセネグサレセンチュウのように, ほとんど糸状菌菌糸ばかり食べている真の糸状菌食者(Hunt 1993)なのか, それとも, 植物根の外皮細胞と糸状菌菌糸のいずれをも摂食する線虫なのか? この疑問に答えるにはさらなる研究が必要である。さらに, Tylenchidae 科全体としての生態的地位を明らかにするには, *Filenchus* 属だけでなく他の属についても食性を検討することが重要である。

#### (5) 線虫の進化における糸状菌食性

*Filenchus* 属における糸状菌食性の確認は, 線虫進化の研究にも貴重な知見を提供する。Tylenchida 目の現存の植物寄生性線虫は糸状菌食の祖先から進化したと考えられている(Maggenti 1981, Poinar 1983)。今回の糸状菌食性の発見は, この仮説を支持するものである。なぜなら, *Filenchus* 属を含む Tylenchidae 科の線虫は, 微細な摂食器官(口針と食道)や長く糸状に延びた尾等, 祖先的な形態的特徴を持つため, Tylenchida 目の中でも原始的なグループとされているためである(Siddiqi 2000)。ただし, 植物寄生性への進化に関するこの仮説を厳密に吟味するには, Tylenchida 目において, 科やそれ以下の分類群を単位とした分子系統樹解析を行い, Tylenchidae 科線虫の原始性を確かめる必要がある。

### 総合考察

本研究では, 土壤中に生息する糸状菌食性線虫の生態について, 農業や環境科学への利用の観点から基礎的研究を行った。対象にした線虫は, 農耕地における代表的な糸状菌食性線虫である Aphelenchida 目のニセネグサレセンチュウ及び *Aphelenchoides* 属の1種と, 農耕地から人手の入らない森林土壌まで幅広い土壌環境に生息するものの, 今まで糸状菌食性が確認されていなかった Tylenchida 目の *Filenchus* 属線虫である。

Aphelenchida 目の線虫については, 土壤伝染性糸状菌による植物病害の発病抑制を目指し, 病原性糸状菌でよく増殖する線虫系統の選抜を行った。特にニセネグサレセンチュウについては, すでに九州産の系統や米国産の系統で, 植物病原性糸状菌を好適な餌として増殖し, 実際に防除効果が認められていることから(崔ら 1988), 本研究では東北地方(主に福島県)で採集された系統に絞って調査した。対象糸状菌は, 野菜類の立枯病を起こす土壌性糸状菌である *Fusarium*, *Rhizoctonia* 及び *Pythium* 属の菌とした。その結果, いずれの菌株においても, 福島県福島市で採集した線虫系統が, 福島県会津坂下町, 同郡山市及び青森県黒石市で採集した系統と同じか, それより高い増殖率を示した。そこで, 実際にポット試験を行い, *Fu. oxysporum* f. sp. *cucumerinam* によるキュウリのつる割病, *Rh. solani* によるカリフラワーの苗立枯病及び *Py. ultimum* によるハウレンソウの苗立枯れに対する福島系統の線虫の発病抑制効果を検討した。その結果, *Fusarium* と *Pythium* による病害の発生抑制はできなかった。しかし, カリフラワーの苗立枯病には線虫による発病抑制効果が認められ, かつ, 増殖試験から予想されたとおり, 福島系統の線虫が他の系統より発病抑制効果が高かった。従って, 増殖率が高い系統を選択すれば, ニセネグサレセンチュウは, *Rh. solani* によるブロッコリー等の苗立枯病の発生抑制に, 少なくとも補助的手段として, 利用できる可能性がある。そのため, カニ殻等糸状菌病低減効果がある有機資材の施用や, 病原性喪失菌の定植前接種による病害抵抗性誘導処理等(石井 2003)との併用により, 実際に圃場において *Rh. solani* 属菌による病害発生を抑制する効果があるか検討すべきである。

圃場施用のためのニセネグサレセンチュウの安価な大量培養法については, ジュース滓等を培地として利用する方法が開発されているが(石橋 1993), 病害抑制資材としての本線虫の圃場レベルでの実用性を判断するには, 病原性糸状菌の菌核等の耐久態や, 本線虫にとって天敵となる線虫捕食菌等が土壤中に存在する場合での試験が不可欠である。

土壤伝染性の植物病原性糸状菌の多くは, 条件的な植物寄生者で, 宿主が存在しない場合は耐久態を形成し, 活動を停止する。しかし, 利用可能な有機物があれば, 活動を再開し, 有機物を分解して養分

を獲得している。従って、こうした菌による植物病害の防除を実施するために糸状菌食性線虫を施用することは、土壤中の糸状菌が貯蔵した窒素等の養分を開放し、植物生育を促進する効果もあると期待される。そのため、糸状菌食性線虫による無機態窒素排出に関する基礎研究が様々に行われ、線虫の窒素排出機能を最大化する糸状菌の種類、有機物のC/N比等が明らかにされてきた (Chen・Ferris 1999, 2000)。しかし、土壤中での重要な物理要因である温度が排出機能に及ぼす影響については調べられていなかった。そこでⅢでは、ⅡとⅣで用いたニセグサレセンチュウの米国 California 州系統と *Ap. composticola* について、増殖や窒素排出に関する温度の影響を調べた。その際の仮説として、有機物に由来する無機態窒素の生成には、有機物分解にかかる生物の発育や増殖が影響するので、増殖適温が異なる生物が存在すると、それによって窒素生成量への温度の影響の仕方が異なると考えた。具体的には、ニセグサレセンチュウの増殖適温が 30℃ 以上なのに対し、*Ap. composticola* は 25℃ 弱である。一方、これらの線虫が良く増殖する餌糸状菌の生育適温も種によって異なり、*Rh. solani* では 30℃ 以上なのに対し、*Bo. cinerea* は 25℃ 弱である。従って、これら生物種の組合せによって、排出される窒素量への温度の影響の仕方が異なることを期待された。そこで、線虫と菌との組み合わせ 4 通りについて、有機物を分解させた時の窒素生成量を 15, 20, 25, 29℃ において測定した。その結果、*Bo. cinerea* では、線虫の有無によらず、窒素量への温度の影響がなかったが、*Rh. solani* では、排出量が最大になる温度が、組み合わせた線虫の増殖適温とほぼ一致し、有機物分解による窒素排出には、線虫を仲立ちとして温度が影響する可能性があることがわかった。線虫を通して窒素量に影響する要因として、糸状菌の種類や有機物の C/N 比が知られているが、それらに加え、本研究で明らかになった温度の影響は、土壤中の有機物由来窒素の適正な管理を行う上で重要な知見である。畑土壌中の有機物分解に関わる糸状菌とそれを摂食する線虫の種類及び各々の増殖適温を明らかにし、それに基づき無機態窒素生成の温度反応パターンを明らかにすれば、畑土壌中での温度変化に基づいて窒素生成量を予測することができる可能性がある。そして、過剰な窒素肥料の投入を抑えた作物栽培管理が可能になると期

待される。また、すでに述べたように、植物病害防除を目指して線虫を人為的に畑土壌に施用する場合も、線虫による土壌窒素の増加が期待できる。

Tylenchida 目の Tylenchidae 科線虫については、環境指標等へ利用するための線虫群集の研究の中での取り扱いが重要であるにもかかわらず、糸状菌食性であるという定まった見解が無かった (Bongers・Bongers 1998)。そこで本研究では、Tylenchidae 科の中で、世界的にも広く分布する *Filenchus* 属線虫について、糸状菌食性の有無を培養実験によって検討した。その結果、3種6系統の線虫が、糸状菌を摂食し、PDA のような寒天培地のみならず土壌をベースにした培地でも増殖することがわかった。このことは、自然の土壌中でも *Filenchus* 属線虫が糸状菌を摂食して増殖し、糸状菌食性がこの属の線虫の一般的な習性である可能性を示した。このことから、*Filenchus* 属線虫は線虫群集の分析においては、糸状菌食性、または植物根食兼糸状菌食性として、Maturity Index (Bongers 1990) 等の生態学的指標の計算に含めるべきと思われる。ただし、糸状菌のみを食べるのか、糸状菌と植物根の両方を食べるのかの判別は、土壌生態系での当該線虫の生態的地位を考える上で重要な問題であり、今後検討する必要がある。

培養試験の中で *Filenchus* 属線虫が、従来線虫捕食菌と考えられてきた *Pl. ostreatus* (Thorn・Barron 1984) の菌糸をも摂食し増殖することが発見された。これは世界的にも初めての報告である。*Filenchus* 属線虫がどのような機作でヒラタケ菌糸による捕食を免れているのか、そのことに生態学的な意義があるのか、ヒラタケ近縁種の菌糸をも摂食できるのか、ヒラタケを摂食できる線虫は他にもいるのか等様々な疑問があり、この現象の解明は、糸状菌と線虫との相互作用についての興味深いテーマといえる。

シスト、ネコブ、ネグサレセンチュウ等農業生産上重要な植物寄生性線虫及び、*Deladenus* 属等、害虫防除資材として重要な昆虫寄生性線虫の両方を含む Tylenchida 目の中でも、原始的といわれる Tylenchidae 科の線虫で (Siddiqi 2000)、糸状菌食性が証明されたことは、線虫の進化を考える上でも意義があると思われる。なぜなら、植物や昆虫に寄生する現存の線虫は、もともと土壌や有機物の中で糸状菌を食べている線虫から進化したと考えられて

いるからである(津田 2000, Poinar 1983)。ただし, Tylenchidae 科の原始性は, 今のところ形態学的特徴に基づくものであるため, 分子生物学的手法等を用いて原始性を確認する必要がある。

応用的には, *Filenchus* 属線虫についても, Aphelenchida 目線虫について検討したように, 植物病害の発病抑制への利用や, 土壌中の窒素循環等への関わりを検討することにより, 同線虫が持つ有用機能を用いた新たな農業技術が開発される可能性がある。

### 引用文献

- 1) Adams, H. S.; Osborne, W. W.; Webber, A. J. Jr. 1982. Effect of temperature on development and reproduction of *Globodera solanacearum* (Osborne's cyst nematode, tobacco pest, Virginia). *Nematropica* 12 : 305-311.
- 2) 相場 聡. 2003. 第17章 線虫のレース, 線虫の生物学(石橋信義編). 東京. 東京大学出版会. p. 238-250.
- 3) Ali, M. R.; Amin, B.; Adachi, T.; Ishibashi, N. 1999. Host and temperature preference, male occurrence and morphometrics of fungivorous nematode, *Aphelenchus avenae* isolates from Japan. *Jpn. J. Nematol.* 29 : 7-17.
- 4) Anderson, R. V.; Coleman, D. C.; Cole, C. V. 1981. Effects of saprotrophic grazing on net mineralization. *Ecol. Bull.* 33 : 201-216.
- 5) Baker, K. F. 1970. Types of *Rhizoctonia* disease and their occurrence. In *Rhizoctonia solani*: biology and pathology. Edited by J.R. Parameter Jr. Berkeley, University of California Press. p. 125-148.
- 6) Barker, K. R. 1964. On the disease reduction and reproduction of the nematode *Aphelenchus avenae* on isolates of *Rhizoctonia solani*. *Plant Dis. Rep.* 48 : 428-436.
- 7) Barron, G. L.; Thorn, R. G. 1987. Destruction of nematodes by species of *Pleurotus*. *Can. J. Bot.* 65 : 774-778.
- 8) Bedding, R. 1993. Biological Control of *Sirex noctilio* using the Nematode *Deladenus siricicola*. Nematodes and the biological control of pests. (Bedding, R., Akhurst, R. and Kaya, H. eds.). East Melbourne, CSIRO Publications. p.11-20.
- 9) Blakeman, J. P. 1980. Behaviour of conidia on aerial plant surfaces. In *The Biology of Botrytis*. (Coley-Smith, J. R., Verhoeff, K. and Jarvis, W. R. eds.). London, New York, Toronto, Sydney, San Francisco, Academic Press. p. 115-152.
- 10) Bongers, T. 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83 : 14-19.
- 11) Bongers, T.; Bongers, M. 1998. Functional diversity of nematodes. *Appl. Soil Ecol.* 10 : 239-251.
- 12) Brzeski, M. W. 1997. Redescription of some species of the genus *Filenchus* Andrassy, 1954 (Nematoda, Tylenchidae). *Miscel. lania Zoologica.* 20 : 45-64.
- 13) Brzeski, M. W. 1998. Nematodes of Tylenchina in Poland and Temperate Europe. Warszawa. Muzeum i Instytut Zoologii Polska Akademia Nauk. p. 49.
- 14) Burges, A. 1965. The soil microflora-Its nature and biology. In *Ecology of Soil-borne Plant Pathogens*(Baker, K. F. and Snyder, W. C. eds.). Prelude to Biological Control. University of California Press, Berkeley, p. 21-32.
- 15) Carlson, R. M. 1978. Automated separation and conductimetric determination of ammonia and dissolved carbon dioxide. *Anal. Chem.* 50 : 1528-1531.
- 16) Cayrol, J. C. 1962. Importance des maladies vermiculaires dans les champignonnières françaises. *Mushroom* 5 : 480-496.
- 17) Chen, J.; Ferris, H. 1999. The effects of nematode grazing on nitrogen mineralization during fungal decomposition of organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 31 : 1265-1279.
- 18) Chen, J.; Ferris, H. 2000. Growth and nitrogen mineralization of selected fungi and fungal-feeding nematodes on sand amended with organic matter. *Plant Soil* 218 : 91-101.

- 19) 崔 東魯, 石橋信義, 田中欽二. 1988. 菌食性線虫と昆虫寄生性線虫の混合施用による土壤病害虫防除. 佐賀大学農学部彙報 65 : 27-35.
- 20) Choi, D. R.; Ishibashi, N. 1989. Propagation of five *Aphelenchus avenae* isolates on six species of fungi and five substrates. Jpn. J. Nematol. 19 : 13-17.
- 21) Clarke, D. C.; Christensen, M. 1981. The soil micro-fungal community of a South Dakota grassland. Can. J. Bot. 59 : 1950-1960.
- 22) Dix, N. J.; Webster, J. 1995. Fungal Ecology. London, Chapman and Hall. 549 p.
- 23) Domsch, K. H.; Gams, W.; Anderson, T. H. 1993. Compendium of Soil Fungi. Vol.1. Eching, IHW-Verlag. 859 p.
- 24) Dropkin, V. H. 1959. Varietal resistance of soybeans to *Meloidogyne*-A bioassay system for separating races of root-knot nematodes. Phytopathology 49 : 18-23.
- 25) Evans, K.; Trudgill, D. L.; Webster, J. M. 1993. Plant Parasitic Nematodes in Temperate Agriculture. Wallingford, Oxon, OX10, 8DE, UK., CABI. 648 p.
- 26) Ferris, H.; Venette, R. C.; Lau, S. S. 1997. Population energetics of bacterial-feeding nematodes: carbon and nitrogen budgets. Soil Biol. Biochem. 29 : 1183-1194.
- 27) Ferris, H.; Venette, R. C.; Meulen, H. R.; Lau, S. S. 1998. Nitrogen mineralization by bacterial-feeding nematodes: verification and measurement. Plant Soil 203 : 159-171.
- 28) Ferris, H.; Bongers, T.; de Goede, R. G. M. 2001. A framework for soil food web diagnostics: Extension of the nematode faunal analysis concept. Appl. Soil Ecol. 18 : 13-29.
- 29) Ferris, H.; Venette, R. C.; Scow, K. M. 2004. Soil management to enhance bacterivore and fungivore nematode populations and their nitrogen mineralisation function. Appl. Soil Ecol. 25 : 19-35.
- 30) Forge, T. A.; Simard, S. W. 2001. Structure of nematode communities in forest soils of southern British Columbia: relationships to nitrogen mineralization and effects of clearcut harvesting and fertilization. Biol. Fert. Soil. 34 : 170-178.
- 31) Forge, T. A.; Bittman, S.; Kowalenko, C. G. 2005. Responses of grassland soil nematodes and protozoa to multi-year and single-year applications of dairy manure slurry and fertilizer. Soil Biol. Biochem. 37 : 1751-1762.
- 32) Fortuner, R. 1970. On the morphology of *Aphelenchoides besseyi* Christie, 1942 and *A. siddiqii* n. sp. (Nematoda: Aphelenchoidea). J. Helminthol. 44 : 141-152.
- 33) Freckman, D. W. 1982. Nematodes in Soil Ecosystem. Austin, University of Texas Press. 206 p.
- 34) Freckman, D.W.; Ettema, C. H. 1993. Assessing nematode communities in agroecosystems of varying human intervention. Agric. Ecosyst. Environ. 45 : 239-261.
- 35) Fujie, A.; Takata, Y.; Tachibana, M.; Yokoyama, T. 1996. Insecticidal activity of an entomopathogenic nematode, *Steinernema kushidai* (Nematoda: Steinernematidae) against *Anomala cuprea* (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae under different soil moisture conditions. Appl. Entomol. Zool. 31 : 453-455.
- 36) Geraert, E. 1991. Tylenchidae in Agricultural Soils. In *Manual of Agricultural Nematology* (Nickle, W. R. ed.). New York, Marcel Dekker, Inc. p. 1035.
- 37) Giannakis, N.; Sanders, F. E. 1989. Interactions between mycophagous nematodes, mycorrhizal and other soil fungi. Agric. Ecosyst. Environ. 29 : 163-167.
- 38) Griffin, D. M. 1972. Ecology of Soil Fungi. London, Chapman and Hall. 193p.
- 39) Háněl, L. 2000. Seasonal changes of soil nematodes, other soil microfauna and fungus fruiting bodies in a spruce forest near Česká Budějovice, Czech Republic. Biologia, Bratislava. 55 : 435-443.
- 40) Háněl, L. 2001. Succession of soil nematodes in pine forests on coal-mining sands near Cottbus, Germany. Appl. Soil Ecol. 16 : 23-34.
- 41) Háněl, L. 2004. Response of soil nematodes inhabiting spruce forests in the Sumava Mountains

- to disturbance by bark beetles and clear-cutting. *For. Ecol. Manage.* 202 : 209-225.
- 42) Hansen, E. L.; Buecher, E. J.; Yarwood, E. A. 1972. Sex differentiation of *Aphelenchus avenae* in axenic culture. *Nematologica* 18 : 253-260.
- 43) Hayes, W. A. 1978. Section A *Agaricus bisporus*, 8. Biological Nature. In *The Biology and Cultivation of Edible Mushrooms* (Chang, S. T. and Hayes, W. A. eds.). New York, San Francisco, London, Academic Press. p. 191-217.
- 44) Hesling, J. J. 1977. *Aphelenchoides composticola*. In *C. I. H. Descriptions of Plant-Parasitic Nematodes* (Willmott, S., Gooch, P. S., Siddiqi, M. R. and Franklin, M. T. eds.). Farnham Royal, Slough, U. K., Commonwealth Agricultural Bureaux. Set 7, No. 92.
- 45) Hinz, P. N.; Eagles, H. A. 1976. Estimation of a transformation for the analysis of some agronomic and genetic experiments. *Crop Sci.* 16 : 280-283.
- 46) Huang, C. S.; Huang, S. P.; Lin, L. H. 1972. The effect of temperature on development and generation periods of *Aphelenchoides besseyi*. *Nematologica* 18 : 432-438.
- 47) Huixin, L.; Inubushi, K.; Miwa, J. 2001. Effects of temperature on population growth and n mineralization of soil bacteria and a bacterial-feeding nematode. *Microb. Environ.* 16 : 141-146.
- 48) Hunt, D. J. 1993. *Aphelenchida, Longidoridae and Trichodoridae: Their Systematics and Bionomics*. Oxon, UK., CAB International. 352 p.
- 49) Hunt, H. W.; Coleman, D. C.; Ingham, E. R.; Ingham, R. E.; Elliott, E. T.; Moore, J. C.; Rose, S. L.; Reid, C. P. P.; Morley, C. R. 1987. The detrital food web in a shortgrass prairie. *Biol. Fert. Soil.* 3 : 57-68.
- 50) 一谷多喜郎.1984. 第3章 病原の生態と発病のしくみ I 病原の生活環 3) *Pythium* 菌 新版 土壌病害の手引き (宇井格生編). 日本植物防疫協会. p. 130-132.
- 51) 一谷多喜郎.1995. 各論 ピシウム菌による病害作物病原菌研究技法の基礎 - 分離・培養・接種 - (大畑貫一, 荒城隆雄, 木曾 皓, 工藤 晟, 高橋廣治編). 東京, 日本植物防疫協会. p. 288-292.
- 52) Ingham, E. R.; Coleman, D. C.; Moore, J. C. 1989. An analysis of food-web structure and function in a shortgrass prairie, a mountain meadow, and a lodgepole pine forest. *Biol. Fert. Soil.* 8 : 29-37.
- 53) Ingham, R. E.; Trofymow, J. A.; Ingham, E. R.; Coleman, D. C. 1985. Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecol. Monogr.* 55 : 119-140.
- 54) 石橋信義. 1992. V 昆虫寄生性線虫 - 生態と利用. 線虫研究の歩み (中園和年編). つくば市, 日本線虫研究会. p. 223-227.
- 55) 石橋信義. 1993. 有用線虫の探索とその大量生産ならびに施用法のシステム化 課題番号 02506001 平成4年度科学研究補助金 文部省試験研究 A (1) 研究成果報告書. 172 p.
- 56) 石井英夫. 2003. 植物防疫における病害抵抗性誘導利用の現状と展望. 今月の農業 47(10) : 13-18.
- 57) 石井俊雄. 1998. 獣医寄生虫学・寄生虫病学 2 蠕虫 他. 東京, 講談社サイエンティフィク. 429 p.
- 58) Kimpinski, J.; Welch, H. E. 1971. Comparison of Baermann funnel and sugar flotation extraction from compacted and non-compacted soils. *Nematologica* 17 : 319-320.
- 59) 清原友也, 田村弘忠, 二井一禎, 真宮靖治. 1992. IV 植物寄生性線虫 - 発生生態と加害性マツ材線虫 2) マツノザイゼンチュウの生態. 線虫研究の歩み (中園和年編). つくば市, 日本線虫研究会. p. 201-222.
- 60) Klink, J. W.; Barker, K. R. 1968. Effect of *Aphelenchus avenae* on the survival and pathogenic activity of root-rotting fungi. *Phytopathology* 58 : 228-232.
- 61) 小林紀彦, 築尾嘉章. 1993. 菌食性線虫によるキュウリつる割病の生物防除. 日本植物病理学会報 59 : 280.
- 62) 駒田 旦. 1984. 第3章 病原の生態と発病のしくみ I 病原の生活環 5) *Fusarium* 菌 新版 土壌病害の手引き (宇井格生編). 日本植物防疫協会. p. 134-138.
- 63) Kurtzman, R. H. Jr. 1978. Section C, Other genera. 18. *Coprinus fimetarius*. In *The Biology and*

- Cultivation of Edible Mushrooms* (Chang, S. T. and Hayes, W. A. eds.). New York, San Francisco, London, Academic Press. p. 393-408.
- 64) Little, T. M.; Hills, F. J. 1978. *Agricultural Experimentation*. New York, John Wiley. 350 p.
- 65) Maggenti, A. R. 1981. *General Nematology*. New York, Springer-Verlag. 372p.
- 66) Mamiya, Y. 1997. The ability of the oyster mushroom (*Pleurotus osteratus*) to capture the pine wood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*). *Jpn. J. Nematol.* 27 : 99.
- 67) Mankau, R.; Mankau, S. K. 1963. The role of mycophagous nematodes in the soil. 1. The relationships of *Aphelenchus avenae* to phytopathogenic soil fungi. In *Soil organisms* (Doeksen, J. and Drift, J. eds.). Amsterdam, North-Holland Publ. Co. p. 272-280.
- 68) McSorley, R. 1987. Extraction of nematodes and sampling methods. In *Principles and Practice of Nematode Control in Crops* (Brown, R. H. and Kerry, B. R. eds.). Sydney, Academic Press. p. 13-48.
- 69) McSorley, R.; Frederick, J. J. 1999. Nematode population fluctuations during decomposition of specific organic amendments. *J. Nematol.* 31 : 37-44.
- 70) McSorley, R.; Frederick, J. J. 2004. Effect of extraction method on perceived composition of the soil nematode community. *Appl. Soil Ecol.* 27 : 55-63.
- 71) Mendis, A. H. W.; Evans, A. A. F. 1983 Population development and oxygen consumption of three isolates of *Aphelenchus avenae* (Nematoda: Aphelenchidae). *Nematologica* 29 : 309-322.
- 72) Minagawa, N. 1979. Efficiencies of two methods for extracting nematodes from soil. *Appl. Entomol. Zool.* 14 : 469-477.
- 73) 三輪 錠司. 2003. 第 5 章 モデル生物 - *Caenorhabditis elegans* 線虫の生物学 (石橋信義編). 東京, 東京大学出版会. p.46-74.
- 74) 水久保隆之. 2003. 第 19 章 線虫による農作物の被害 線虫の生物学 (石橋信義編). 東京, 東京大学出版会. p.265-281.
- 75) 名和行文. 2003. 第 8 章 人類と寄生虫 線虫の生物学 (石橋信義編). 東京, 東京大学出版会. p.97-115.
- 76) Nielsen, K. F.; Gravesen, S.; Nielsen, P. A.; Andersen, B.; Thrane, U.; Frisvad, J. C. 1999. Production of mycotoxins on artificially and naturally infested building materials. *Mycopathologia* 145 : 43-56.
- 77) 大畑貫一. 1995. 総論 作物病原菌研究技法の基礎 - 分離・培養・接種 - (大畑貫一, 荒城隆雄, 木曾 皓, 工藤 晟, 高橋廣治編). 東京, 日本植物防疫協会. p.1-22.
- 78) 岡田浩明. 1995a. キスジノミハムシ体内から発見された Tylenchida 目昆虫寄生性線虫に関する知見. *日線虫学誌* 25 : 130.
- 79) 岡田浩明. 1995b. 野菜の苗立枯病に対する菌食性線虫の抑制効果. *北日本病虫研報* 46 : 210.
- 80) Okada, H. 1995. Propagation of two fungivorous nematodes on four species of plant-pathogenic fungi. *Jpn. J. Nematol.* 25 : 56-58.
- 81) 岡田浩明. 1996a. アレナリアネコブセンチュウの播種前密度がダイズの収量と生育におよぼす影響. *北日本病虫研報* 47:105-106.
- 82) 岡田浩明. 1996b. *Howardula* sp. の寄生によるハムシ幼虫の発育異常と死亡. *日線虫学誌* 26 : 46.
- 83) Okada, H.; Ferris, H. 2001. Effect of temperature on growth and nitrogen mineralization of fungi and fungal-feeding nematodes. *Plant Soil* 234 : 253-262.
- 84) Okada, H.; Tsukiboshi, T.; Kadota, I. 2002. Mycetophagy in *Filenchus misellus* (Andrássy, 1958) Raski & Geraert, 1987 (Nematoda : Tylenchidae), with notes on its morphology. *Nematology* 4 : 795-801.
- 85) 岡田浩明. 2002. ミニレビュー (「土壌動物を観察する夏の学校」講義ノート) 土壌生態系における線虫の働き - 特に無機態窒素の動態への関わり -. *根の研究* 11 : 3-6.
- 86) Okada, H.; Kadota, I. 2003. Host status of 10 fungal isolates for two nematode species, *Filenchus misellus* and *Aphelenchus avenae*. *Soil Biol. Biochem.* 35 : 1601-1607.
- 87) Okada, H.; Harada, H.; Kadota, I. 2004. Application of diversity indices and ecological indices to evaluate nematode community

- changes after soil fumigation. Jpn. J. Nematol. 34 : 89-98.
- 88) 岡田浩明. 2005. 土壤生態系を評価するための線虫群集指数. 植物防疫 59 : 423-426.
- 89) Okada, H.; Harada, H.; Tsukiboshi, T.; Araki, A. 2005a. Characteristics of *Tylencholaimus parvus* (Nematoda: Dorylaimida) as a fungivorous nematode. Nematology (in press).
- 90) Okada, H.; Harada, H.; Kadota, I. 2005b. Fungal-feeding habits of six nematode isolates in the genus *Filenchus*. Soil Biol. Biochem. 37 : 1113-1120.
- 91) Phillips, R. 1991. Mushrooms in North America. Boston, Toronto, London, Little, Brown and Company. 319 p.
- 92) Pillai, J. K.; Taylor, D. P. 1967a. Effect of temperature on the time required for hatching and duration of life cycle of five mycophagous nematodes. Nematologica 13 : 512-516.
- 93) Pillai, J. K.; Taylor, D. P. 1967b. Influence of fungi on host preference, host suitability, and morphometrics of five mycophagous nematodes. Nematologica 13 : 529-540.
- 94) Poinar, G. O. 1983. The Natural History of Nematodes. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall. 323p.
- 95) Rhoades, H. L.; Linford, M. B. 1959. Control of *Pythium* root rot by the nematode *Aphelenchus avenae*. Plant Dis. Rep. 43 : 323-328.
- 96) Rössner, J.; Nagel, S. 1984. Untersuchungen zur Ökologie und Vermehrung des mycophagen Nematoden *Aphelenchoides hamatus*. Nematologica 30 : 90-98.
- 97) Ruess, L. 1995. Nematode fauna in spruce forest soils: a qualitative/ quantitative comparison. Nematologica 41 : 106-124.
- 98) Saikawa, M.; Wada, N. 1986. Adhesive knobs in *Pleurotus ostreatus* (the oyster mushroom), as trapping organs for nematodes. Trans. Mycol. Soc. Jpn. 27 : 113-118.
- 99) Sano, Z.; Nakasono, K.; Araki, M. 1983. Penetration and development of *Meloidogyne incognita* in some enemy and host plants. Proc. Assoc. Plant Protect. Kyushu 29 : 132-136.
- 100) 佐野善一. 2004. 第6章 土壤線虫・植物寄生性線虫. 2 線虫の分離法. 2.1 土壤からの分離法. 2.1.1 ベルマン法, 2.1.2 二層遠心浮遊法. 線虫学実験法 (線虫学実験法編集委員会編). つくば市, 日本線虫学会. p.87-90.
- 101) Seinhorst, J. W. 1959. A rapid method for the transfer of nematodes from fixative to anhydrous glycerin. Nematologica 14 : 67-69.
- 102) Sherwood, R. T. 1970. Physiology of *Rhizoctonia solani*. In *Rhizoctonia solani, Biology and Pathology* (Parmeter, J. R. Jr. ed.). Berkeley, Univ. Calif. Press. p. 69-92.
- 103) 白山義久. 2003. 第1章 線虫の世界. 線虫の生物学 (石橋信義編). 東京, 東京大学出版会. p.3-11.
- 104) 城間祥行, 佐藤良也. 1997. 日本における糞線虫と糞線虫症. 福岡, 九州大学出版会. 191 p.
- 105) Siddiqi, M. R. 2000. Tylenchida Parasites of Plants and Insects, 2nd edition. Wallingford, CABI Publishing. 833p.
- 106) Stanton, J. M.; Sartori, M. 1990. Hatching and reproduction of the potato cyst nematode, *Globodera rostochiensis*, from potato fields in Western Australia as influenced by soil temperature. Nematologica 36 : 457-464.
- 107) Stevens, R. B. 1981. Mycology Guidebook. Seattle and London, University of Washington Press. 712p.
- 108) 杉本利哉. 1984. 第3章 病原の生態と発病のしくみ I 病原の生活環 6) *Rhizoctonia* 菌 新版 土壤病害の手引き (宇井格生編). 日本植物防疫協会. p. 138-140.
- 109) Sutherland, J. R. 1967. Parasitism of *Tylenchus emarginatus* on conifer seedling roots and some observations on the biology of the nematode. Nematologica 13 : 191-196.
- 110) Thorn, R. G.; Barron, G. L. 1984. Carnivorous mushrooms. Science 224 : 76-78.
- 111) Thorn, R. G.; Moncalvo, J. M.; Reddy, C. A.; Vilgalys, R. 2000. Phylogenetic analyses and distribution of nematophagy support a monophyletic Pleurotaceae within the polyphyletic pleurotoid-lentinoid fungi. Mycologia 92 : 241-252.

- 112) Trofymow, J. A.; Coleman, D. C. 1982. The role of bacterivorous and fungivorous nematodes in cellulose and chitin decomposition in the context of a root/rhizosphere/soil conceptual model. In *Nematodes in soil ecosystems* (Freckman, D. W. ed.). Austin, Texas, University of Texas Press. p. 117-138.
- 113) 津田 格. 2000. 第3章 微生物が関与する森林の栄養連鎖 - 動物との関係を中心に - 3.3 キノコに棲息する線虫 森林微生物生態学 (二井一禎, 肘井直樹編). 東京, 朝倉書店. p. 91-101.
- 114) Tsuda, K.; Futai, K. 2000. The insect-parasitic stage and life cycle of *Iotonchium unguatum* (Tylenchida: Iotonchiidae), the causal agent of gill-knot disease of the oyster mushroom. *Jpn. J. Nemat.* 30 : 1-7.
- 115) Venette, R. C.; Ferris, H. 1997. Thermal constraints to population growth of bacterial-feeding nematodes. *Soil Biol. Biochem.* 29 : 63-74.
- 116) Walker, G. E. 1984. Ecology of the mycophagus nematode *Aphelenchus avenae* in wheat-field and pine-forest soils. *Plant Soil* 78 : 417-428.
- 117) Wallace, H. R. 1960. Observations on the behaviour of *Aphelenchoides ritzemabosi* in *Chrysanthemum laeves*. *Nematologica* 5 : 315-321.
- 118) Wang, K. H.; McSorley, R.; Marshall, A. J.; Gallaher, R. N. 2004. Nematode community changes associated with decomposition of *Crotalaria juncea* amendment in litterbags. *Appl. Soil Ecol.* 27 : 31-45.
- 119) Wang, K. H.; McSorley, R. 2005. Effects of soil ecosystem management on nematode pests, nutrient cycling, and plant health. Feature Story. January 2005. APS (The American Phytopathological Society) net. <http://www.apsnet.org/online/feature/nematode>.
- 120) Watanabe, T. 1994. Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi. Lewis Publishers, Florida, 411p.
- 121) Wood, F. H. 1973a. Life cycle and host-parasite relationships of *Aglenchus costatus* (de Man, 1921) Meyl, 1961 (Nematoda: Tylenchidae). *N. Z. J. Agric. Res.* 16 : 373-380.
- 122) Wood, F. H. 1973b. Nematode feeding relationships, feeding relationships of soil-dwelling nematodes. *Soil Biol. Biochem.* 5 : 593-601.
- 123) Wright, C. J.; Coleman, D. C. 2000. Cross-site comparison of soil microbial biomass, soil nutrient status, and nematode trophic groups. *Pedobiologia* 44 : 2-23
- 124) Yeates G.; Bongers, T.; de Goede, R. G. M.; Freckman, D. W.; Georjeva, S. S. 1993. Feeding habits in nematode families and genera - an outline for soil ecologists. *J. Nematol.* 25 : 315-331.
- 125) Yeates, G. W.; Bird, A. F. 1994. Some observations on the influence of agricultural practices on the nematode faunae of some South Australian soils. *Fundam. Appl. Nematol.* 17 : 133-145.
- 126) Yeates, G. W. 1996. Nematode ecology. *Rus. J. Nematol.* 4 : 71-75.
- 127) Yeates, G. W.; Bardgett, R. D.; Cook, R.; Hobbs, P. J.; Bowling, P. J.; Potter, J. F. 1997. Faunal and microbial diversity in three Welsh grassland soils under conventional and organic management regimes. *J. Appl. Ecol.* 34 : 453-470.
- 128) Yeates, G. W.; Wardle, D. A.; Watson, R. N. 1999. Responses of soil nematode populations, community structure, diversity and temporal variability to agricultural intensification over a seven-year period. *Soil Biol. Biochem.* 31 : 1721-1733.
- 129) Younes, T. 1969. Caractéristiques biologiques et modalités parasitaires d'un nêmatode mycophage, *Aphelenchoides composticola* (Franklin, 1957). *Annls. Zool. Ecol. Anim.* 1 : 407-417.
- 130) Young, I. M.; Griffiths, B. S.; Robertson, W. M.; McNicol, J. W. 1998. Nematode (*Caenorhabditis elegans*) movement in sand as affected by particle size, moisture and the presence of bacteria (*Escherichia coli*) . *Europ. J. Soil Sci.* 49 : 237-241.



## Ecology of Fungivorous Nematodes and Their Use for Suppression of Plant Diseases

Hiroaki OKADA

### Summary

Nematodes are ubiquitous animals in marine, freshwater and soil environments. The number of their species has been estimated at over one hundred million. However, ecological and physiological studies have been focused mainly on parasitic species, which are harmful to human beings, domestic animals, crops and vegetables. Some free-living nematode species, however, are considered useful for agricultural production and environmental sciences. In this study, fungivorous free-living nematodes, which commonly occur in agricultural soils, were examined for their abilities to suppress plant diseases, and to increase soil inorganic nitrogen for plant growth. Other common free-living species were also examined to determine if they have fungal-feeding habits, to reduce ambiguity in their feeding-group classification in nematode community analysis.

#### **1. Population growth of fungivorous nematodes of the order Aphelenchida, and their use for suppression of fungal plant-diseases**

To test whether they suppress soil-borne plant-pathogenic fungi, nematode species or isolates collected in the Tohoku region of northern Japan were measured for their reproduction rates on the fungi. The *Aphelenchus avenae* isolate, collected in Fukushima city in Fukushima prefecture, reproduced well on major fungal pathogens causing vegetable damping-off, *Rhizoctonia solani* and *Pythium ultimum*. An unidentified *Aphelenchoidea* species from Fukushima city also showed good reproduction on another pathogenic fungus, *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani*, as well as on *Rh. solani*. *Aphelenchus avenae* was also examined to determine whether its four isolates from different localities in Tohoku area had different reproduction rates when cultured on *Rh. solani*, *Py. ultimum* and *Fu. oxysporum*. Generally on any fungus, the Fukushima-city isolate did better than the other nematode isolates. Thus, this isolate was tested preferentially in pot experiments to determine whether it was able to prevent cucumber wilt by *Fu. oxysporum* f. sp. *cucumerinam*, cauliflower damping-off by *Rh. solani*, and spinach damping-off by *Py. ultimum*. The nematode isolate was found effective at preventing cauliflower damping-off, but was found ineffective on the other plant diseases. The other *Ap. avenae* isolates were also tested against cauliflower damping-off, but were not effective. It was concluded that *Ap. avenae* was effective at preventing damping-off caused by *Rh. solani*, if a nematode isolate with large population growth on the fungus was selected.

#### **2. Effects of fungivorous nematodes and temperature on nitrogen mineralization in soil dominated by fungal decomposers**

When nematodes feed on fungi, they excrete inorganic nitrogen such as ammonium; hence, nematodes may help increase soil fertility. The nematode activity may be affected by physical factors, such as soil temperature or moisture. Thus, the effect of temperature on the growth and the nitrogen excretion of two

fungal and two nematode species from US were examined in microcosm experiments. In dish microcosms, the optimal temperatures for hyphal growth of the two fungi differed; the temperature was 29 °C or higher for *Rh. solani*, while slightly less than 25 °C for *Bo. cinerea*. The optimal temperatures for reproduction of the two nematode species also differed; the temperature was 29 °C or higher for *Ap. avenae*, while slightly less than 25 °C for *Ap. composticola*. To determine the effect of temperature on nitrogen excretion by the organisms when they decompose organic matter, alfalfa and cellulose, column microcosms were established. For each of the two fungal species, columns with the fungus alone, and columns with the fungus plus *Ap. avenae* or *Ap. composticola*, were prepared at 15, 20, 25 and 29 °C, to measure the cumulative amount of nitrogen excreted and nematode reproduction rates in 21 days. In the *Bo. cinerea* experiment, the amount of nitrogen was not affected by temperature in either the fungus alone or fungus plus nematode columns, although nematode reproduction was affected. Also in the *Rh. solani* experiment, the nitrogen amount detected was not affected by temperature in the fungus alone column. In the fungus plus nematode columns, however, the nitrogen amount and the nematode reproduction rate were greatest at the temperature close to the optimal for each nematode species determined in the dish microcosm. It was concluded that temperature might influence nitrogen mineralization in organic matter decomposition by fungi, through reproduction of fungivorous nematodes. These results suggest that it may be possible not only to reduce plant disease, but also to enhance nitrogen mineralization under appropriate soil temperature, by applying fungivorous nematodes.

### 3. Examination of fungal-feeding habits in the nematode species of the genus *Filenchus*

Nematode community analysis is expected to be a useful tool for soil ecosystem diagnosis, such as degree of artificial disturbance or of fertility status. In the analysis, nematode classification, based on feeding habits and life history traits, is essential. The feeding habits of nematode species of the family Tylenchidae, often predominating in nematode communities, have been unclear, although the nematodes have sometimes been observed feeding on plant roots. Determination of fungal-feeding habits in the family is important for nematode ecologists. A species of Tylenchidae was found in a pile of rice straw for composting. This finding suggested the possibility of fungal feeding in Tylenchidae. The nematode species was identified as *Filenchus misellus* based on morphological characteristics. Nematode species of the genus *Filenchus*, a major member of Tylenchidae, were thus examined in culture experiments to determine whether they were able to feed on fungi. *Fi. misellus* from rice straw compost was compared with *Ap. avenae* for reproduction rates as affected by food fungal species on PDA, because *Ap. avenae* is quite different from *Fi. misellus* in terms of systematic positions and habitats. *Fi. misellus* reproduced well feeding on Ascomycota and Basidiomycota fungi, including *Pleurotus ostreatus*, which is known as a nematode-trapping fungus. It was suggested that the ecological characteristics of *Fi. misellus* were quite different from those of *Ap. avenae*, which reproduced well on plant-pathogenic fungi. The six nematode isolates representing three *Filenchus* species, collected from soils of different localities in Japan, also showed reproduction by feeding on fungi growing on soil-based media as well as on agar-based PDA. These results suggest that fungal-feeding habits are not unusual in the genus in field soils. It was concluded that the appropriate classification of *Filenchus* species in nematode community analysis is fungal, or fungal and plant root feeders.

東北農業研究センター研究報告 第105号

---

平成18年3月 発行

編集兼発行 東北農業研究センター  
代表者 氏 原 和 人  
〒020-0198 盛岡市下厨川字赤平4  
電 話 (019) 643-3414, 3417  
(情報資料課)

印 刷 所 河北印刷株式会社  
〒020-0015 盛岡市本町通2-8-7

---